

# THESE

présentée

A L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

pour obtenir

le titre de DOCTEUR-INGENIEUR

spécialité: Amélioration des Plantes

par

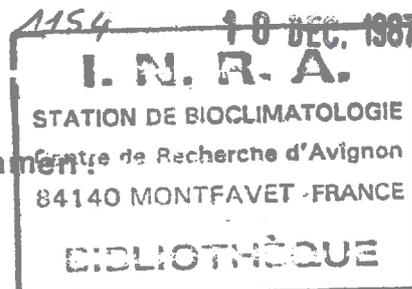
**Philippe HUET**

Ingénieur agronome ENSAG

Contribution à l'étude des effets résiduels des cultures

Comportement du Blé tendre en monoculture

obtenue le 25 février 1977 devant la commission d'examen



MM LEMEE

Président

DEMARLY

Examineur

JACQUARD

Rapporteur

RECAMIER

Examineur

*BITH*



# S O M M A I R E

AVANT-PROPOS

INTRODUCTION

pages

1

Première partie :

REACTIONS DU BLE TENDRE AUX MODIFICATIONS INDUITES PAR LA SUCCESSION DES CULTURES : COMPOTEMENT DU BLE EN MONOCULTURE.	
I - DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES	
II - ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPOTEMENT DU BLE EN MONOCULTURE	10
A - Présentation de l'étude	18
1. Objectifs	18
2. Organisation des expériences	
B - Etude du rendement en grain	
1. Evolution du rendement au cours de la culture continue	20
2. Rendement du Blé d'hiver en monoculture de longue durée	
3. Discussion et conclusion	
C - Etude de la structure du rendement en grain du Blé	31
1. Eléments bibliographiques	
2. Etude expérimentale des composantes du rendement	
3. Etude statistique de la structure du rendement Conclusion	
D - Etude des réactions plastiques et chimiques du Blé	49
1. Modifications de l'appareil végétatif	
2. Influence de la monoculture sur la composition chimique Conclusion	
E - Etude de l'état sanitaire du Blé	55
1. Mode de notation	
2. Résultats	
3. Conclusion	
F - Conclusion générale	

Seconde partie :

POSSIBILITES D'AMENAGEMENT DU SYSTEME DE CULTURE	
I - INFLUENCE DES INTERVENTIONS CULTURALES PRECEDANT LE SEMIS DU BLE	61
A - Effets des coupures - Cas des cultures dérobées d'engrais verts	62
1. Généralités	62
2. Influence des coupures sur la fertilité du sol	

3.	Influence des coupures sur le parasitisme	
4.	Les cultures dérobées d'engrais verts dans les monocultures de Blé	
5.	Etude de l'effet des cultures dérobées d'engrais verts en monoculture de Blé d'hiver, à la station de Grignon	
6.	Conclusion	69
B -	Influence des restitutions organiques	73
C -	Influence du travail du sol sur le Blé en monoculture	
	1. Généralités	
	2. Modes d'action du travail du sol en liaison avec les problèmes posés par la succession des cultures	
	3. Conséquences du mode de travail du sol en monoculture de Blé	
II -	IMPORTANCE DU CHOIX DES CULTIVARS EN FONCTION DE LA SUCCESSION CULTURALE	80
A -	Généralités	80
B -	Problèmes posés par la monoculture en matière de résistance aux parasites	81
C -	Etude expérimentale du comportement de variétés de Blé tendre dans différentes successions culturales	84
	1. Choix des variétés	
	2. Variation du rendement des variétés en fonction des antécédents culturaux	
	3. Comportement variétal en monoculture et modifications de la structure du rendement	
	4. Discussion et conclusions	
III -	ADAPTATION DES INTERVENTIONS CULTURALES EN MONOCULTURE DE BLE	92
A -	Date et densité de semis	92
B -	Fertilisation azotée du Blé en monoculture	94
	Eléments bibliographiques	
	Etude expérimentale de la fertilisation azotée	
C -	Lutte chimique contre les maladies fongiques du Blé	106
	Eléments bibliographiques	
	Etude expérimentale	
D -	Utilisation du CCC	119
E -	Lutte chimique contre les nématodes phytophages	120
	Conclusion de la seconde partie	122
Troisième partie :		
	MODIFICATIONS DU MILIEU INDUITES PAR LA MONOCULTURE ET ESSAI DE SYNTHESE	125
I -	INFLUENCE DE LA MONOCULTURE DU BLE SUR LES CARACTERISTIQUES DE L'AGRO-ECOSYSTEME	126
A -	Influence de la succession des cultures sur les propriétés physico-chimiques du sol	126
	1. Modes d'action des cultures céréalières sur les propriétés du sol	

2. Effets à terme des successions céréalières sur les propriétés physico-chimiques du sol	
3. Etat des principales caractéristiques physico-chimiques du sol dans les essais de successions culturales de Grignon	
4. Conclusion	
B - Influence de la succession des cultures sur la microflore du sol	
1. Influence de la culture du Blé sur les microorganismes du sol	132
2. Evolution de la microflore du sol en monoculture de Blé	
3. Conclusion	
C - Influence de la succession des cultures sur la minéralisation de l'azote organique du sol	
1. Influence des précédents culturaux sur la libération de l'azote minéral dans le sol	135
2. Etude expérimentale de l'influence de la succession des cultures sur l'azote minéralisable	
conclusion	
D - Influence de la monoculture sur les parasites telluriques du Blé	
Les champignons pathogènes	145
1. Système de culture et type de maladie	
2. Localisation des maladies favorisées par la monoculture du Blé en fonction des conditions de milieu	
3. Incidence des parasites cryptogamiques telluriques dans les successions céréalières	
Les nématodes phytophages	
1. Fluctuation des peuplements de nématodes dans le sol	150
2. Problèmes posés par les nématodes en monoculture de Blé	
3. Etat actuel des populations de nématodes dans les monocultures établies à Grignon	
E - Influence de la monoculture sur la flore adventice	
1. Adventices associées à la culture	154
2. Sélection de la flore adventice en relation avec la succession des cultures et le programme de désherbage	
3. Désherbage et précédent cultural	
4. Monoculture et évolution de la flore adventice	
5. Possibilités de contrôle de la flore adventice en monoculture de Blé	
6. Contrôle des adventices dans les essais de monoculture de Grignon	
7. Conclusion	
II - ESSAI DE SYNTHESE	
1. Evolution des agro-écosystèmes	159
2. Représentation systémique de l'agro-écosystème	
CONCLUSION GENERALE	
BIBLIOGRAPHIE	170
	173



## AVANT - PROPOS

MM. PEQUIGNOT et RECAMIER, Professeurs à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Grignon, puis à l'I.N.A. Paris-Grignon, ont été à la base de ma formation en Phytotechnie et en Expérimentation. Par la suite, ils m'ont accueilli dans leur laboratoire, et associé à leurs travaux. M. RECAMIER, en tant que Directeur de la station expérimentale du S.E.I., m'a conseillé sur le choix du thème de travail et sur les orientations que devait comporter ce type d'étude. Ses suggestions et ses critiques, à propos des résultats et de leur interprétation, m'ont été très précieuses pour mener à bien ce travail. Je me fais un plaisir de les remercier l'un et l'autre, en les assurant de mon sincère attachement.

Je remercie particulièrement M. REBISCHUNG, Inspecteur Général à l'I.N.R.A., Chef du Département S.E.I., qui est à l'origine des études du Laboratoire du S.E.I. de Grignon sur la simplification des systèmes de culture, et qui donne à la station les moyens de développer ses programmes.

M. LEMEE, Professeur d'Ecologie végétale à la Faculté des Sciences d'Orsay, a bien voulu, malgré ses lourdes charges, accepter la présidence du jury. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude.

Je suis particulièrement reconnaissant envers M. DEMARLY, Professeur d'Amélioration des Plantes à la Faculté des Sciences d'Orsay, qui, malgré ses nombreuses responsabilités, a accepté d'assurer la direction de ce travail. Au cours de la progression des recherches, il m'a consacré une partie de son temps précieux pour me prodiguer ses suggestions et ses encouragements. En raison de sa profonde compréhension des phénomènes biologiques, les multiples entretiens qu'il m'a accordés ont été extrêmement formateurs et enrichissants.

M. JACQUARD, Maître de Recherches au C.N.R.S. (I.N.R.A.) a bien voulu s'intéresser de nouveau à un thème qu'il connaît particulièrement. Ses conseils avertis, au cours de la rédaction et de la mise au point de ce mémoire, m'ont été des plus utiles. Je le remercie d'avoir accepté d'en être le rapporteur.

Je suis extrêmement reconnaissant à MM. BOYELDIEU, Professeur d'Agronomie, et CORRIOLS de l'I.N.A. P.G., de m'avoir donné la possibilité de poursuivre cette étude.

Le travail expérimental a été entièrement réalisé dans le cadre de la station expérimentale du S.E.I., et de la Chaire d'Agriculture du Centre de Grignon. Les expériences qui y sont poursuivies sont l'oeuvre d'une équipe, à laquelle j'exprime ma profonde gratitude. Mon ami J.F. FOURBET, Ingénieur au S.E.I., y tient avec efficacité un rôle d'animateur ; il m'a apporté des idées et des données particulièrement précieuses. Je tiens également à associer à mes remerciements J. TROIZIER, responsable de la conduite des essais de plein champ, et l'ensemble du personnel technique, qui ont par leur soin et leur travail rendu possible cette étude.

Je n'oublierai pas les services rendus par mes collègues et amis G. RAYNAL et S. BOURGEOIS, et par leurs collaboratrices Mme FERRARI et Melle COPPIN, en particulier pour les analyses qu'ils ont bien voulu réaliser ou pour le matériel qu'ils ont mis à ma disposition.

Je remercie également celles et ceux qui ont participé à la réalisation matérielle de ce mémoire : Melle J. LEFEVRE pour la dactylographie, M. DELARBRE et ses collaboratrices du service de reprographie de l'INA P.G. Centre de Grignon, et enfin, ma femme pour son aide précieuse et attentionnée.

## INTRODUCTION

En agronomie, la plupart des phénomènes sont complexes, ils se situent dans un système intégrant le milieu au sens large (le climat, le sol et l'environnement biologique), et la plante cultivée. Dans ce système, les interventions humaines, si elles sont possibles à différents niveaux, n'entraînent pas que des réactions simples, directes. Le choix du matériel végétal, le recours aux différentes techniques culturales, et leurs modalités d'application, qui constituent les différentes interventions humaines dans "l'agro-écosystème" interagissent sur les paramètres biologiques du milieu cultivé. Malgré la complexité du système, les effets principaux de nombreux phénomènes sont bien connus, et dans un certain nombre de cas, quantifiables; le niveau technique de l'agriculture moderne en est la manifestation évidente.

Il existe cependant, un gradient dans la complexité des mécanismes mis en jeu dans la production végétale, qui est fonction de leur "démultiplication", et de la multiplicité des causes de variation.

Si la causalité d'un phénomène peut quelquefois être aisément établie lorsque celui-ci correspond à une intervention contrôlée, appliquée directement sur le végétal (par exemple l'effet d'un traitement fongicide sur la végétation), elle devient plus problématique, pouvant même conduire à une "indétermination" lorsque le phénomène est induit indirectement au niveau d'un système plus complexe. C'est en particulier le cas des modifications apportées au sol dans le système "climat-sol-plante".

Les effets qu'exercent les cultures, et les séquences culturales ("effets résiduels"), sur les cultures suivantes, mettent en jeu des modifications extrêmement diversifiées du milieu cultivé. Ces modifications qui affectent les caractéristiques physiques, chimiques du sol, et les équilibres biologiques de l'environnement, dépendent non seulement des cultures (matériel végétal et opérations culturales), mais encore de ce qu'on pourrait appeler la "susceptibilité" du milieu. Ainsi, d'une région à l'autre, les effets résiduels d'un précédent cultural ne se manifestent pas de façon identique ; le type de sol, comme le climat en conditionnent l'expression.

La variabilité des effets résiduels d'une culture donnée présente des origines diverses :

- au niveau de leur induction, puisque certaines interventions culturales associées au précédent peuvent en modifier les arrières-  
actions, et se répercuter sur les récoltes suivantes,

- et au niveau de leur manifestation. Les réactions du matériel végétal aux séquences culturales précédentes dépendent de ses caractéristiques génétiques (JACQUARD et coll., 1970) - et les conséquences des interventions appliquées à la "culture-test" (fumure, traitements phytosanitaires, etc.) peuvent interagir avec les effets résiduels du précédent.

Par ailleurs, les modifications induites dans le milieu par une culture, peuvent être persistantes, et se manifester plusieurs années durant ; compte tenu de la succession des cultures, ceci implique la possibilité de cumul des effets résiduels, et de leur interaction.

Il n'est donc pas étonnant d'observer, dans la réalité, une grande diversité d'informations sur les effets résiduels des cultures, que ce soit à partir d'expérimentations, où pourtant une partie des causes de variations peuvent être "contrôlées", ou bien, a fortiori, à partir d'enquêtes.

## 1 - Caractéristiques de la monoculture et but de l'étude.

La monoculture, ou culture continue d'une même espèce végétale sur une sole donnée, apparaît comme étant le type de succession culturale le plus simple. Pourtant, sa pratique dans les zones d'agriculture intensive, et particulièrement en Europe occidentale, reste l'exception, même si dans certaines régions, une spécialisation poussée se dessine. Ce n'est donc pas tant son intérêt vis-à-vis de l'économie agricole actuelle, que ses caractéristiques biologiques et techniques, qui nous ont fait choisir ce contexte pour étudier les effets résiduels.

Il est intéressant de rechercher les conséquences que peut avoir la monoculture sur les éléments de l'agro-écosystème, c'est-à-dire sur cet écosystème dans lequel l'homme exerce différents type de contrôle. Pour certains auteurs (WILHEM, 1965 ; SOUTHWOOD, 1970), une telle succession de cultures confère au système un manque de continuité, de diversité, et de stabilité. La comparaison avec les écosystèmes naturels est, de ce point de vue, édifiante. En conditions de culture intensive, de nombreux éléments sont mis en jeu pour obtenir une certaine uniformité :

- la plupart des cultures comprennent des géotypes provenant d'une seule espèce, et extrêmement semblables, c'est le cas en particulier dans les cultivars des plantes autogames. Au contraire, les peuplements naturels sont caractérisés par leur polymorphisme.

- le peuplement d'une culture a une densité régulière, toutes les plantes ont le même âge, et donc des états physiologiques identiques.

- le milieu de culture tend à être artificialisé, les éléments nutritifs sont apportés en fonction des besoins des plantes ; le développement des mauvaises herbes est contrôlé.

La recherche de cette uniformité, qui caractérise l'agriculture moderne, se vérifie non seulement à l'intérieur des cultures, mais aussi entre les cultures. De ce point de vue, la culture continue "monospécifique", et a fortiori "monogénotypique", constitue une véritable "situation limite". Les effets répétés des plantes elles-mêmes, et des interventions culturales spécialisées, tendent à modifier les paramètres du milieu, et en particulier la composition de la biocénose. Ainsi, par exemple, sous l'effet de la culture continue d'une seule espèce, on assiste à la réduction du spectre de la communauté des parasites du milieu. L'extinction de certaines espèces, et la prédominance atteinte par les agents favorisés par l'hôte (MUKHOPADHYAYA et al., 1969), caractérisent la manque de stabilité d'un tel agro-écosystème.

Ce défaut se traduit par un risque d'accidents culturaux, préjudiciables à la productivité du système de culture. Cependant, les interventions humaines peuvent, dans une certaine mesure, remédier au manque de stabilité de l'agro-écosystème, grâce à des moyens complémentaires vis-à-vis de la succession des cultures.

Le but de notre travail est d'étudier le comportement du Blé tendre en monoculture. Compte tenu de notre infrastructure expérimentale, regroupée en une seule station, l'analyse des phénomènes induits par ce type de succession culturale est difficilement dissociable des conditions de milieu, c'est pourquoi nous nous efforcerons d'apprécier, en plus des tendances générales qui peuvent se manifester, la part de variabilité inhérente aux conditions climatiques. Notre contribution à l'étude des effets résiduels des cultures ne peut pas prétendre être une approche exhaustive du sujet, qui devrait relever d'une action pluridisciplinaire. Au fur et à mesure de la progression de notre travail, il nous est cependant apparu nécessaire de replacer nos résultats dans un cadre plus général, par le biais des apports bibliographiques.

Cette étude se situe à différents niveaux : dans une première partie, nous analyserons les conséquences de la répétition de la culture du Blé -lorsque celle-ci est pratiquée sans aménagement particulier -ceci afin de mettre en évidence, à partir des réactions du végétal, les origines des variations du rendement en grain.

Dans la seconde partie, nous envisagerons les possibilités d'aménagement du système de culture en vue d'en améliorer la production, ce qui contribuera, indirectement, à préciser les causes de la diminution de rendement.

La troisième partie à dominante bibliographique, est destinée à examiner les mécanismes induits dans l'agro-écosystème, par la culture continue de la céréale, et à en présenter les effets limites. Un essai de synthèse permettra de replacer au sein de l'agro-écosystème les risques respectifs de la succession des cultures, et de la spécialisation des interventions humaines.

### 3 - Généralités sur la monoculture du Blé.

#### Historique de la monoculture

En Europe, la monoculture constitue l'exception, depuis l'époque où les Romains ont généralisé la pratique des systèmes de culture incluant la jachère et l'alternance des cultures. Jusqu'à la première moitié du XXe siècle, elle reste généralement considérée comme étant difficile à appliquer de façon durable, compte tenu de l'apparition de facteurs limitants (maladies, parasites, mauvaises herbes), qui en réduisent les rendements, à brève échéance. Cependant dans la littérature, quelques exemples montrent que la culture continue d'une même espèce végétale a été possible sur une longue période.

- en Russie et en Hongrie, des régions entières étaient presque exclusivement cultivées en Blé (SCHUBART et THAER).

- Sur les plateaux des Andes, certains sols auraient été réservés à la monoculture du Blé (BOUSSINGAULT). *confusion avec Noix ?*

- En France, dans les marais du Poitou, la culture continue du Blé fut pratiquée avec succès sur les sols très fertiles.

A ces quelques exemples, limités au cas de la monoculture du Blé, étaient opposées les multiples situations, pour lesquelles la règle de l'alternance des cultures s'imposait de façon impérative.

L'influence qu'exercent les cultures sur celles qui leur succèdent, a été observée depuis longtemps ; elle est, en particulier, évoquée dans l'oeuvre de VIRGILE. Les agronomes des siècles derniers l'exprimaient en terme de "sympathie" ou "d'antipathie", selon que les effets étaient ou non bénéfiques. Le problème de la compatibilité entre les cultures successives fit l'objet de nombreuses expériences et donna lieu à des hypothèses très variées quant aux mécanismes mis en jeu.

Certains, tel l'Abbé ROZIER (XVIIIe s.) attribuent la supériorité des récoltes obtenues, dans les alternances de cultures, à une meilleure exploration du sol par les racines. En admettant que les plantes puisent leur nourriture dans le sol à des profondeurs différentes, selon la morphologie de leur système racinaire, la culture répétée d'une même espèce végétale était supposée conduire à l'épuisement des éléments nutritifs de la couche de sol explorée. Les rotations de cultures, prônées à cette époque, faisaient donc se succéder des plantes à système racinaire pivotant, et des plantes à système racinaire fasciculé.

De CANDOLLE écrivait dans son traité de Physiologie végétale :  
"les plantes réussissent mal sur un terrain qui vient de porter des végétaux de la même espèce, du même genre ou de la même famille".  
Il attribuait ce comportement des cultures répétées, à l'accumulation dans le sol d'exsudats racinaires se révélant toxiques, à partir d'une certaine concentration, vis-à-vis de l'espèce cultivée.

Les expériences portant sur la culture répétée d'une même espèce ont mis en évidence une diminution du rendement (par rapport à un système de référence constitué par une culture normalement assolée, ou encore succédant à une jachère). Certaines d'entre elles ont pu révéler l'existence de facteurs limitants, capables de rendre impossible la poursuite de la monoculture, à moins d'y remédier artificiellement. A Grignon, DEHERAIN dut interrompre, après la huitième année, une monoculture d'Avoine implantée en 1875, à la suite d'une infestation d'Agropyrum repens. Traditionnellement, l'alternance des cultures, ainsi que le travail du sol, constituaient les seules méthodes de lutte contre les adventices. Les modifications du milieu qu'elle entraîne, étant, tantôt favorables à certaines mauvaises herbes, tantôt favorables à d'autres, limitent les risques d'une sélection trop intense de la flore.

Vers la moitié du XIXe siècle, HEUZE fut l'un des premiers à montrer que le comportement des cultures dans la rotation était susceptible de varier d'une région à l'autre, en d'autres termes, que l'effet des cultures précédentes interagissait avec les conditions de milieu (climat, sol). Il en découle que la nécessité d'alterner des cultures se déduit, non pas uniquement de la nature de leurs effets, mais aussi de certaines caractéristiques du milieu.

#### Monoculture et rotations céréalières

Ces successions de cultures peu diversifiées et n'incluant, à la limite, qu'une seule espèce végétale, sont pratiquées dans différentes régions du monde (KUPERS, 1972).

Le "Cornbelt" aux U.S.A. constitue un premier exemple. Dans l'Etat du Montana, en zone aride, des cultures continues de Blé de printemps sont pratiquées, interrompues parfois par des jachères. Les rotations culturales des Etats du centre (Kansas, Oklahoma) sont presque exclusivement composées de Blé d'hiver. Dans ces régions, il s'agit le plus souvent de cultures pratiquées selon un système extensif ou semi-extensif.

Les variations de rendement dues à la rotation y restent négligeables par rapport à celles dues au climat, ou aux autres facteurs de la production.

Pour les zones de culture intensive, et en Europe occidentale en particulier, une évolution dans les systèmes de culture se manifeste depuis quelques dizaines d'années. En effet, les progrès scientifiques et techniques réalisés depuis le XIXe siècle jusqu'à nos jours - avec la découverte de l'alimentation minérale des plantes (LIEBIG), la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses (BOUSSINGAULT), la fabrication industrielle des engrais minéraux, la production de désherbants chimiques de synthèse, et l'essor de la mécanisation, ont permis de remettre en question certaines pratiques agronomiques relatives à la succession des cultures, et ont abouti à l'augmentation de la fréquence des cultures les plus intéressantes dans la rotation.

Ainsi, en Grande-Bretagne, certaines exploitations, les "barley-farms" sont extrêmement spécialisées. Au Danemark, on trouve les assolements les plus chargés en céréales de toute l'Europe (JENSEN, 1975). En France, en plus de la monoculture de Maïs qui est fréquemment appliquée dans les Pyrénées-Atlantiques, la rotation-type de la Beauce n'inclut que du Maïs et des Blés. La tendance à la monoculture semble même s'accroître davantage dans une région comme le Thimerais, où le Blé d'hiver est l'une des cultures s'accommodant le mieux des contraintes imposées par le type de sol (HUET, 1975 a).

Cette évolution vers une simplification des systèmes de cultures est encore susceptible de se poursuivre, ce qui justifie les nombreuses expériences actuellement en cours.

#### 4 - Justification de l'approche expérimentale.

En matière de successions de cultures, étant donné la multiplicité des facteurs et conditions mis en jeu, le mode d'étude le plus apte à révéler les différents effets résiduels, sans risquer de les confondre avec des "effets parasites", consiste en des expérimentations pluriannuelles (de préférence répétées dans des sites différents). Celles-ci, conduites dans un milieu donné, avec un protocole stable d'une année sur l'autre, sont à même de fournir des informations, non seulement sur la valeur des différents précédents culturels ou séquences culturales, mais encore sur :

- les mécanismes correspondant aux arrière-actions,

- le conditionnement de ces mécanismes par les caractéristiques climatiques,
- la réaction des plantes aux effets résiduels,
- et les modifications à terme, des paramètres de l'agro-écosystème.

Comme pour toute étude agronomique, le système de référence, en plus des caractéristiques du milieu cultivé, revêt une grande importance. Les modifications induites par les cultures précédentes, qui peuvent se manifester dans le sol et sur la végétation ultérieure, sont révélées par comparaison entre deux ou plusieurs séquences culturales. La cohérence des informations implique que soit respecté un minimum d'homogénéité dans les modes de conduite des différentes cultures.

Il est cependant évident qu'une étude expérimentale portant sur ce thème ne peut être qu'incomplète, compte tenu de la multiplicité des facteurs culturaux susceptibles d'interagir, et de l'encombrement des dispositifs qu'elle implique. Aussi, nous sommes nous attachés à faire varier les conditions culturales les plus déterminantes vis-à-vis de la production agricole (fumure azotée, protection sanitaire, choix du cultivar, etc.). Afin de tester la répétabilité des résultats, et de faire la part des interactions dues aux conditions climatiques de l'année, la plupart des expériences sont de type pérenne.

La durée des expériences est, de ce point de vue, un investissement prépondérant (REBISCHUNG, 1969). A partir des dispositifs préexistant à la station, nous avons cherché, en affinant leur protocole et en implantant de nouvelles expériences complémentaires, à mettre au point une sorte de "complexe expérimental", au sein duquel la recherche des interactions entre les facteurs de production est menée de pair avec l'analyse des réactions du végétal.

L'ensemble des plans d'expériences sont bâtis selon les principes classiques développés dans la littérature spécialisée (COCHRAN et COX, 1950 ; KEMPTHORNE, 1952 ; SCHEFFE, 1967), de façon à obtenir un compromis entre les contraintes d'ordre pratique, et la recherche de tests suffisamment puissants\*.

\* Les analyses statistiques ont été réalisées sur les ordinateurs IBM 1130 du C.N.R.A. - Versailles, et HEWLETT-PACKARD de l'I.N.A.P-G centre de Grignon.

PREMIERE PARTIE

REACTIONS DU BLE TENDRE  
AUX MODIFICATIONS INDUITES PAR LA SUCCESSION DES CULTURES :  
COMPORTEMENT DU BLE EN MONOCULTURE

## I - DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

### 1 - Comportement du Blé par rapport aux différentes céréales.

En ce qui concerne le Blé, la quasi-totalité des essais effectués en Europe, montre une réduction du rendement en monoculture, par rapport aux résultats obtenus dans des rotations incluant des espèces différentes. L'appréciation de cette diminution de rendement est contingente, puisqu'elle est réalisée par rapport à des systèmes de référence locaux, et qu'elle peut subir des variations annuelles de forte amplitude. Pour ne citer que des résultats obtenus sur plusieurs années d'expérimentation, l'ordre de grandeur de la diminution du rendement du Blé en monoculture peut être au minimum de 8,5 % par rapport à des Blés succédant à des Betteraves et à des Pommes de terre (DIERCKS, 1972), ce qui fut observé en Allemagne, sur trois essais et pour une période de onze ans.

Le niveau des rendements peut être beaucoup plus affecté en monoculture. AGERBERG (1967), en Suède, a observé dans six essais, et pendant seize ans, que la réduction moyenne atteignait 40 % du rendement des Blés normalement assolés.

A Rothamsted, sur le champ d'essai implanté par LAWES et GILBERT, le rendement du Blé, cultivé en continu, a baissé en moyenne de 20,5 % entre la première et la quatrième année après une jachère, et ce, sur une période de vingt ans. Dans ce cas, l'écart de rendement tend cependant à être surestimé, compte tenu des variétés cultivées, et des niveaux de fumure appliqués.

Un exemple choisi sous des conditions de milieu différentes, montre l'importance des interactions entre le climat et le système de culture. Au Kansas, en sol argilo-limoneux et sous un climat tempéré sub-humide, HOBBS (1971) a obtenu des rendements moyens (1959 à 1967) supérieurs en monoculture de Blé. L'introduction d'autres espèces (Luzerne, Sorgho) dans la rotation n'y a pas amélioré les rendements céréaliers. L'influence des cultures sur l'état hydrique du sol, est, dans une telle situation, la principale composante des effets résiduels.

En ce qui concerne l'Orge et l'Avoine, les résultats expérimentaux obtenus dans les différents pays sont également très variés. L'Orge de printemps est, d'une façon générale, considérée comme étant l'une des céréales réagissant le moins aux séquences culturales précédentes (DEBRUCK, 1965 ; FRANKE, 1962 ; RECAMIER, 1973).

Cette réaction différente des cultures à leur précédent direct a été récemment quantifiée dans une expérimentation conduite en Belgique (RIXHON, 1972). Plusieurs espèces ont été cultivées dans des conditions analogues, à la suite d'une gamme d'antécédents variés ( prairies, plantes sarclées, et céréales). Grâce à la différence entre les valeurs relatives des rendements correspondant aux divers précédents, il est possible de caractériser la susceptibilité des espèces testées aux effets résiduels (tableau 1). Le Blé, et dans une moindre mesure le Lin, l'Orge et l'Avoine, sont les cultures réagissant le plus aux précédents ; toutefois, il faut remarquer qu'une fumure excessive est à même de désavantager des antécédents comme la Féverolle ou la Luzerne.

Le comportement des espèces cultivées dans différentes successions, est susceptible de varier de façon importante, en fonction des conditions locales. En Suède, par exemple, AGERBERG (1967) a mis en évidence sur plusieurs années que le rendement de l'Orge en monoculture subissait une réduction de l'ordre de 50 % ; tandis que dans les mêmes conditions, plus favorables du point de vue sanitaire à l'Avoine, le rendement de cette céréale n'était pas sensiblement affecté. COLLINGWOOD (1962), en Grande-Bretagne et FRANKE, déjà cité, en Allemagne, ont obtenu le résultat inverse dans des sols infestés par les nématodes : l'Orge se comporte mieux en monoculture que l'Avoine.

Pour ce qui est du Maïs, il s'agit incontestablement de la céréale la moins sensible au précédent cultural, aussi son rendement en monoculture, est-il généralement peu affecté. En France, plusieurs publications font état de ce comportement, dont certaines sont relatives à des enquêtes effectuées dans la région Sud-Ouest (Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, 1974 ; SEBILLOTTE et MANICHON, 1973 ).

Sur les expériences de monoculture implantées à Grignon par PEQUIGNOT et RECAMIER entre 1962 et 1968, nous retrouvons en partie ces différences interspécifiques. Si l'on considère les quatre dernières campagnes, au cours desquelles il est possible de comparer, au minimum, les quatre premières phases de culture continues des principales céréales, on vérifie que le rendement du Maïs ne réagit pas à la répétition de la culture (tableau 2). En ce qui concerne l'Orge et l'Avoine, elles manifestent le même comportement à la suite d'une culture de Betterave fourragère dont les verts sont enfouis après la récolte : le rendement décroît de façon significative pour se stabiliser dès la deuxième

ou troisième culture. L'amplitude relative de l'écart, entre le rendement de la première culture, et le rendement en monoculture, est du même ordre de grandeur dans les deux cas (respectivement 9.3 % pour l'Orge, et 11.3 % pour l'Avoine). Dans le cas du Blé, elle est légèrement plus élevée: 13.9 % pour une variété de printemps (César), et 12.6 % pour une variété d'hiver (Cappelle). Sur cette période, sans doute trop brève pour être représentative de la variabilité des conditions climatiques, surtout vis-à-vis des températures hivernales, la différence n'apparaît pas manifestement entre les céréales de printemps et le Blé d'hiver; une tendance difficile à préciser de façon statistique, subsiste néanmoins entre les espèces. La variabilité des rendements, due à la monoculture, reste dans tous les cas inférieure à celle existant entre les années. La répétition des cultures n'influe pas sensiblement sur cette variabilité interannuelle des rendements, comme cela pourrait être le cas en présence d'attaques parasitaires très importantes, favorisées par la succession des cultures.

Cet aperçu général sur le comportement des principales céréales en culture continue, tend donc à montrer, qu'en dépit d'une variabilité importante due aux conditions de milieu, chaque espèce présente une réaction particulière vis-à-vis de la séquence culturale précédente.

La disparité du matériel végétal vis-à-vis de son comportement dans les rotations culturales ne se limite d'ailleurs pas à une variabilité interspécifique, nous verrons ultérieurement qu'en raison de la multiplicité des mécanismes mis en jeu par les effets résiduels des cultures, il faut prendre en considération, pour une espèce donnée, la variabilité intraspécifique.

## 2 - Proportions de céréales dans la rotation.

En ce qui concerne l'assolement, et plus particulièrement la proportion des céréales qui en font partie, il conditionnerait, d'après certains auteurs, le niveau de rendement de celles-ci. Des rapports d'enquêtes réalisées dans diverses régions d'Allemagne (DORRE et STEINHAUSER, 1966), font état d'une relation étroite entre les rendements du Blé et la proportion des céréales à l'intérieur de la rotation. Dans ce même pays, en sols limoneux humifères, il a été montré (WICKE, 1970), sur une période de trois ans, que les rendements du Blé d'hiver décroissent linéairement, quand la proportion de céréales dans la rotation augmente (ceci pour des rotations comprenant entre 25 et 100 % de céréales). D'autres auteurs (DEBRUCK, 1970 ; GLIEMEROTH et al, 1972 ;

KOS, 1970 et 1974 ; NAWROCKI et KUS, 1973 ; STRNAD, 1974 ; DIERCKS, 1975), évoquent également l'incidence de cette caractéristique de la rotation sur le niveau des rendements. Cependant, des résultats obtenus à Changins, en Suisse (VEZ, 1969), dans un essai de rotation (en sol argilo-limoneux) montrent que le pourcentage de céréales incluses dans la rotation, ne constitue pas une cause de variation prépondérante vis-à-vis du rendement du Blé. Son incidence reste limitée, par rapport à celle du précédent cultural direct.

Ce critère de la composition de la rotation ne présente pas une signification précise, surtout dans le cas où on cherche à le relier au rendement d'une culture-test. Il ne s'agit que d'une caractéristique globale que tient compte ni des espèces de céréales cultivées, ni de la nature des cultures autres que céréalières, ni enfin de l'ordre des différentes plantes incluses dans la rotation, et des interactions possibles entre précédents et antécédents. On conçoit donc que la proportion de céréales dans la rotation, ne soit pas un critère représentatif d'une rotation culturale, au moins en ce qui concerne ses effets immédiats sur les cultures suivantes.

### 3 - Valeur des différentes céréales comme précédents du Blé.

Les effets résiduels des différentes céréales, vis-à-vis du Blé tendre, sont bien distincts ; une compatibilité différente entre les espèces céréalières est régulièrement mise en évidence, surtout en Europe occidentale, où leur densité atteint un niveau important même dans les rotations traditionnelles. Le fait dominant est que l'Avoine constitue un précédent céréalier du Blé, plus favorable que ne le sont l'Orge, le Seigle et le Blé lui-même (KONNECKE, 1961 ; PEQUIGNOT et RECAMIER, 1965 ; VEZ, 1964, 1969 et 1975 ; RIXHON et PARMENTIER, 1973).

Sur une expérience mise en place récemment, il nous a été permis de vérifier cette différence de comportement. Deux rotations céréalières (Orge de printemps, Blé tendre) et (Avoine de printemps, Blé tendre) sont en comparaison avec une monoculture de Blé. Les cultures de Blé, qui reçoivent une fumure azotée uniforme (150 u/ha), sont semées pour moitié à l'automne et au printemps (tableau 3). En moyenne, l'Avoine se révèle être le meilleur précédent du Blé, tandis que l'Orge et le Blé ont une valeur sensiblement identique. Ceci confirme les résultats précédemment obtenus à la Station. En 1975, l'absence de différence entre les trois antécédents culturaux, s'explique par le contrôle médiocre des adventices, dans l'ensemble de l'essai.

#### 4 - Evolution du rendement du Blé en monoculture.

La plupart des études visant à montrer quelle est l'évolution de la production de la céréale, quand elle se trouve placée dans un système de monoculture, portent sur des expériences réalisées en station. Ces expériences sont de deux types :

- Le Blé en monoculture peut être comparé à une culture succédant à un espèce différente, et le plus souvent placée dans une rotation "normale" pour la région, mais dont une seule phase est présente chaque année. La comparaison des deux systèmes n'est donc possible que lors des campagnes où le Blé figure simultanément dans les deux successions. Ce type de dispositif ne permet pas d'isoler les effets induits par la rotation, des effets dûs aux conditions climatiques de l'année, et, a fortiori, de leur interaction. L'exploitation des résultats se fait alors par l'étude de l'évolution de l'écart relatif existant entre les rendements des deux types de cultures.

- Afin de mettre en évidence l'évolution du rendement du Blé en culture continue pour des conditions climatiques identiques, ce qui permet, en outre, de montrer dans quelle mesure ces conditions sont à même d'influer sur les phénomènes aboutissant à une évolution du rendement, il est nécessaire de recourir à des dispositifs appropriés. Ceux-ci consistent à implanter autant de séquences culturales qu'elles comportent de phases, mais en les décalant dans le temps, de telle sorte qu'après une période "préexpérimentale", ils présentent, chaque année les phases successives de la succession en comparaison (YATES, 1949).

##### a) La diminution du rendement du Blé en culture continue.

Le déclin de la production du Blé, lorsque sa culture est pratiquée de façon continue sur une même parcelle, est l'un de ces phénomènes qui marque l'histoire de l'Agronomie. Sa manifestation a été vérifiée dans de nombreuses régions du monde, mais la plupart des études sur ce sujet proviennent surtout des zones de cultures intensives. Une revue bibliographique sur ce sujet révèle une grande variabilité de l'amplitude du phénomène de déclin, et dans ses causes. Le matériel végétal utilisé, les conditions dans lesquelles ont été conduites ces cultures, sont à l'origine de cette variabilité. La composition de la rotation culturale de référence, et l'espèce cultivée immédiatement avant le Blé fait que tout rapprochement entre les différents résultats ne peut être qu'indicatif.

Les expériences de monoculture conduites à Rothamsted sont parmi les plus connues. Dans le champ de Saxmundham, sur limon-argileux, SLOPE et J. ETHERIDGE (1973) ont observé une réduction moyenne du rendement de 10,3 % sur trois années, entre un Blé succédant à une prairie temporaire et à des haricots, et les troisième ou quatrième Blés consécutifs. Pour ces différentes années l'amplitude du déclin de rendement sur cette période a varié de 7 à 17 %.

GLIEMEROTH et KUBLER (1972) dans différentes stations du Wurtemberg constatent une chute moyenne de rendement sur cinq ans, atteignant 34 %. En Hongrie, KAPOSZTA (1971) fait état d'une évolution encore plus marquée avec une réduction de rendement de 30 % dès la troisième année de monoculture. Des essais réalisés au Danemark (1966) mettent également en évidence le déclin du rendement (26 %) au cours des quatre premières années de culture continue. Ces exemples correspondent aux cas où le phénomène est le plus marqué, du fait des problèmes phytosanitaires induits par la répétition d'une même culture.

Au contraire, dans certaines conditions de milieu, la pratique de la culture continue du Blé, ne donne pas lieu à des rendements anormalement bas. DIERCKS (1972) en Bavière, après une dizaine d'années d'expérimentation dans trois stations, obtient en monoculture des rendements, qui ne sont inférieurs que de 8,5 % à ceux des Blés cultivés en rotation avec des plantes sarclées. ARFIRE (1968) en Roumanie observe des écarts analogues.

#### Phase de déclin

En général, le rendement commence à décliner dès la seconde culture consécutive du Blé. Toutefois, l'écart entre les rendements de ces deux cultures, de même que celui existant entre ceux de la troisième et de la seconde, sont susceptibles de varier sensiblement d'une année sur l'autre, ce qui montre bien la difficulté de chiffrer ce genre de phénomène hors d'un dispositif expérimental. A partir des résultats d'essais obtenus par RIXHON (1967 et 1971) à Gembloux, en sol limoneux profond on peut mettre en évidence la variabilité annuelle de ce phénomène (tableau 4). Pour ces deux années de résultats, la chute de rendement au niveau du troisième Blé par rapport au Blé de Betterave varie de 15 à 4 quintaux par hectare. Tandis qu'en 1967, le second Blé obtient un rendement intermédiaire entre le premier et le troisième ; en 1971 le déclin est surtout marqué entre les deux premières cultures. (On re-

marque que dans cet essai l'amplitude du phénomène risque d'être surestimée par suite d'un éventuel effet cumulatif, dû à l'enfouissement répété des verts de Betterave).

Une variabilité analogue est observée dans l'évolution des rendements en Blé (variété Cappelle) dans l'essai de monoculture de Saxmundham à Rothamsted, avec une réduction de la production en grain allant de 5 à 15 q/ha (tableau 4).

#### Niveau de stabilisation du rendement

A la suite de la première phase, au cours de laquelle le rendement en grain du Blé diminue, plusieurs évolutions sont possibles:

- la stabilisation progressive des rendements,
- ou bien, une augmentation marquée des rendements précédant leur stabilisation. Cette dernière évolution est en général observée dans des conditions sanitaires défavorables. La figure 1 illustre par quelques exemples ce type de comportement.

En Suisse, sur un sol argilo-sableux riche en gravier, VEZ (1975), à partir de deux essais distincts a ainsi montré, que, si le rendement du Blé décline de façon sévère (jusqu'à 35 %) lors des premières années de la monoculture, il remonte ensuite sensiblement, avant de se stabiliser à un niveau qui reste inférieur de 15 à 18 % à celui des parcelles en rotation. RIXHON (1972) observe en Belgique une évolution analogue; ces résultats sont d'ailleurs en accord avec ceux obtenus dans d'autres pays (GREGORY, 1966; JENSEN, 1973).

De cette analyse bibliographique, sur l'évolution du rendement du Blé d'hiver en culture continue, il ressort que, pour des conditions de milieu variées, et, il faut le souligner, avec des caractéristiques culturales (fertilisation, entretien, ...) sensiblement "normales", la répétition de cette céréale entraîne une chute de rendement notable par rapport au Blé en rotation.

En ce qui concerne la culture répétée des variétés de Blé du type printemps, la littérature européenne dispose de quelques exemples. VETTER et SCHONEICH (1969) ont montré en Allemagne, que la monoculture entraîne une réduction de rendement de l'ordre de 12 %, par rapport au Blé cultivé en rotation. Par ailleurs, le Blé de printemps, à l'instar des autres céréales de printemps, est signalé comme étant moins sensible à la répétition (DEBRUCK, 1970 ; RECAMIER, 1973).

b) Incidences des antécédents sur l'évolution du rendement.

Lors de l'implantation de la monoculture, les effets résiduels de la séquence culturale précédente peuvent se manifester sur les premiers Blés. Cette arrière-action a une persistance plus ou moins longue, en relation avec les espèces cultivées précédemment, et avec les techniques culturales associées à ces cultures. Ainsi, JACQUARD et ses collaborateurs (1969-1970), ont-ils mis en évidence la persistance des effets bénéfiques dus au retournement d'une prairie artificielle de Luzerne (de trois ans), sur les trois premières cultures annuelles consécutives, et cela par comparaison avec une séquence de trois cultures de Maïs.

Compte tenu de la période pendant laquelle se manifeste l'arrière-action des antécédents culturels, mais aussi de l'intensité de ces effets résiduels, on pourrait s'attendre à observer des différences dans l'évolution des rendements, au cours des premières années de la culture continue du Blé. Dans la pratique agricole, cette hypothèse est implicitement admise puisque la culture répétée d'une espèce et plus particulièrement du Blé ("sensible" aux précédents) se voit le plus souvent réalisée à la suite d'antécédents favorables, après défrichement d'une prairie permanente, ou retournement d'une prairie artificielle, par exemple.

On ne trouve que peu d'études prouvant l'exactitude de cette hypothèse. A partir des résultats d'un essai de rotation de RIXHON (1972), on peut comparer la baisse de rendement du Blé, entre la première et la seconde culture, selon qu'elles succèdent à des Betteraves ou à de l'Orge (tableau 5). Même dans un essai de ce type, où les deux séquences précédentes sont profondément contrastées - avec la répétition d'une culture "favorable" comme la Betterave d'une part, et un précédent "médio-cre" comme l'Orge d'autre part - le fait d'adapter le niveau de la fumure azotée (ce qui était le cas), n'entraîne pas une modification sensible de l'évolution du rendement des Blés. La variabilité interannuelle, liée probablement à la valorisation des verts de Betterave, ou à l'incidence des maladies, reste importante.

## II - ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPORTEMENT DU BLE TENDRE EN MONOCULTURE.

### A - Présentation de l'étude.

#### 1 - Les objectifs.

Il ressort de nombreuses expériences portant sur les monocultures céréalières, que l'espèce, et dans le cas du Blé, le type de variété (hiver ou printemps), conditionnent l'évolution de la production en grain au cours de la culture continue. Avant de rechercher quelle peut être l'incidence des différents éléments du système de culture, sur le rendement de la céréale, lors des deux phases successives (déclin et stabilisation) généralement observées en monoculture, il est important de chercher à accroître la variabilité du phénomène.

Le fait d'expérimenter en station, et sur des soles homogènes (cf. l'étude du milieu expérimental, annexe I), ne nous permet pas de diversifier les conditions de milieu. Une autre voie aurait pu consister à aborder cette étude dans des parcelles ayant porté des séquences culturales très différentes, leur passé cultural récent pouvant interférer avec les effets résiduels induits dans l'expérience. Cette éventualité, impliquant un dispositif expérimental très lourd, n'a pu être retenue ; la plupart des essais de monoculture sont implantés à la suite de rotations à dominante céréalière.

C'est par le choix du matériel végétal, que nous avons cherché à provoquer une variabilité supplémentaire du phénomène. Comme les manifestations de certains des effets résiduels sont conditionnées par la plante-test, nous avons retenu deux variétés de Blé susceptibles de les diversifier le plus possible : une variété de type hiver, et une variété de type printemps. Par ailleurs, pour lever l'indétermination résultant d'une différence de comportement entre ces deux cultivars, pouvant être due, soit aux caractéristiques génétiques, soit aux époques de semis différentes, et aux conséquences qu'elles entraînent sur la végétation, il était indispensable de rechercher une interaction, entre la date de semis et la séquence culturale précédente, sur le rendement du Blé. L'implantation d'une expérience de ce type, emblavée avec une variété alternative était à même de fournir ces informations.

#### 2 - Organisation des expériences.

(Les principales caractéristiques des essais sont résumées dans l'annexe. Les numéros des essais évoqués dans cette étude, en constituent les renvois)

a) Caractères généraux.

. L'étude du comportement du Blé en fonction de l'ancienneté de la monoculture, est abordée sur deux dispositifs expérimentaux distincts, implantés à partir de 1967 et 1968, et qui, respectivement, depuis 1973 et 1974, comportent chaque année les six premières cultures de Blé venant à la suite d'une culture de Betterave fourragère (essais n° 1 et 2). Les verts et les collets de la Betterave, ainsi que les chaumes du Blé sont enfouis lors du labour, mais les pailles sont systématiquement exportées. Pour les différentes phases de la monoculture du Blé, les caractéristiques culturales, travail du sol, densité de semis, fertilisation et désherbage sont identiques.

En raison de leur constitution, ces deux dispositifs sont destinés à mettre en évidence l'effet de la coupure d'une monoculture de Blé par une plante sarclée. PEQUIGNOT et RECAMIER (1965) ont montré qu'une simple culture annuelle de ce type permettait, dans le cas d'une monoculture de très longue durée, de relever le rendement du Blé suivant, au niveau normal des cultures assolées. Ceci permet, par ce type d'essai, de simuler, d'une année sur l'autre, les conditions d'implantation des monocultures. C'est depuis 1971, que le plus récent des deux essais est systématiquement emblavé en Blé de printemps. La proximité des deux dispositifs, et l'homogénéité du champ, permettent d'établir un parallèle valable entre leurs résultats, comme le prouve la récolte de 1970 qui portait sur la même variété.

. L'influence de l'époque de semis sur le comportement du Blé dans différentes séquences culturales, est étudiée dans une expérience depuis 1972 (essai n° 7). Après une année de transition permettant de comparer les arrière-effets de la Betterave, de l'Orge et du Pois, l'essai comporte chaque année des Blés dans les trois situations culturales suivantes :

- en rotation biennale après Betterave,
- en monoculture derrière Blé d'automne,
- en monoculture derrière Blé de printemps.

. En ce qui concerne les effets à terme de la monoculture du Blé, ils peuvent être abordés dans des soles maintenues sous ce régime depuis 1900 (monoculture de BERTHAULT, essai n° 7), et 1965, (essai n° 8). Ces deux dispositifs sont situés en fond du val, sur un sol colluvial, sensiblement plus argileux que le sol du plateau.

b) Choix des variétés.

En monoculture de Blé d'hiver, la variété Cappelle, choisie à l'implantation de l'essai, a été maintenue afin de permettre le regroupement pluriannuel des résultats. Dans le contexte agroclimatique de Grignon, c'est avec Champlein, l'une des variétés les plus régulières, dont le niveau de rendement n'est pas sensiblement dépassé par la majorité des variétés plus récentes, comme le montrent les résultats moyens obtenus dans des essais variétaux (sans protection phytosanitaire en végétation) lors des années 1974 et 1975 (tableau 6).

Le choix de la variété Cappelle est cependant susceptible, dans ces conditions, de conduire à sous-estimer l'amplitude des variations de rendement en monoculture, en raison de sa bonne résistance au piétin-verse (Cercospora herpotrichoides), commun dans la région. Depuis 1972, la monoculture de Blé de printemps est régulièrement emblavée avec la variété César, actuellement l'une des plus productives ; tandis que pour l'essai sur les dates de semis, le choix a porté sur la variété alternative Charles Péguy.

B - Etude du rendement en grain du Blé.

Dans ce chapitre, nous considérons uniquement le critère principal de la production céréalière : le rendement en grain. Les modifications survenant au cours de la végétation du Blé, et leurs conséquences sur la structure du rendement, dans les différentes situations culturales, seront traitées ultérieurement.

1 - Evolution du rendement du Blé au cours de sa culture continue.

a) Cas du Blé d'hiver.

Sur une période de quatre ans, de 1972 à 1975, caractérisée par une remarquable stabilité des rendements de la variété Cappelle (coefficient de variation de 5,5 % sur les résultats moyens de l'année), il a été possible de regrouper les résultats concernant les cinq premières cultures successives de Blé (essai n° 1 - tableau 7). L'évolution du rendement, en fonction du rang du Blé en monoculture, apparaît conditionnée par les caractéristiques générales de l'année, comme le montre l'existence d'une interaction hautement significative entre l'année et le rang de la culture. A cet égard, les résultats de l'année 1972, caractérisés par l'absence de différence significative entre les rendements des cinq Blés successifs, diffèrent profondément des résultats obtenus pour les années suivantes. De 1973 à 1975, le rendement du Blé d'hiver est significativement réduit dans le cas des Blés sur Blés, par rapport à celui du Blé de Betterave, avec un écart relatif variant entre 8 et 19 %.

Malgré l'interaction, les résultats moyens sur les quatre années montrent une réduction marquée du rendement sur les 2e, 3e et 4e cultures. L'étude des contrastes entre les différentes phases de l'essai montre que seule la différence entre le rendement du Blé de Betterave et le rendement moyen des quatre Blés sur Blés, est significative ( $P=0.01$ ). Ceci montre, qu'à court terme, on atteint une situation d'équilibre, dès que les effets résiduels, dus à la culture de Betterave et à l'enfouissement de ses résidus organiques, se sont dissipés.

Sur un laps de temps aussi réduit, il n'est pas possible de comparer avec une puissance suffisante la variabilité des résultats relatifs aux différentes phases de la monoculture. Dans l'ensemble, les coefficients de variation restent faibles par comparaison avec ceux observés sur des Blés figurant pendant la même période, dans des rotations différentes, le choix de la variété est de ce point de vue prépondérant.

#### b) Cas du Blé de printemps

Sur la même période de 1972 à 1975, la comparaison des Blés successifs, possible sur les quatre premiers Blés suivant la Betterave, montre que l'effet "année" est déterminant vis-à-vis de l'évolution du rendement (essai n° 2 - tableau 8). Le phénomène de déclin fut davantage accusé en 1973, avec une diminution relative de 28 % par rapport au rendement du "Blé de Betterave", que lors des autres années, caractérisées par des écarts variant entre 10 et 15 %.

En moyenne, le rendement du Blé de printemps s'amenuise régulièrement, du second jusqu'au quatrième Blé successif. L'écart maximum se situe entre les deux premières cultures ; mais contrairement à ce qui est observé pour le Blé d'hiver, l'évolution est encore significative entre le rendement des deuxième et quatrième Blés.

La variabilité interannuelle, sensiblement plus marquée que dans le cas de la variété d'hiver Cappelle, donne lieu à des écarts de rendements plus importants, que ceux occasionnés par la répétition des cultures. Il n'y a cependant pas de liaison apparente entre l'amplitude du phénomène étudié, et le niveau moyen des rendements de l'année, comme le montre la comparaison entre les années 1973 et 1975.

#### c) Comparaison du comportement des Blés d'hiver et de printemps

Si l'on considère les courbes représentant l'évolution de l'indice de rendement des Blés d'hiver et de printemps, en fonction du rendement

du Blé de Betterave, pour l'ensemble des quatre années (1972 à 1975) (figure 2 ), elles présentent un parallélisme évident, tendant à montrer que, dans ces conditions, les deux cultivars réagissent en moyenne, de façon analogue à la séquence culturale précédente.

La figure 3 représente les relations existant, année par année, et en moyenne sur la période considérée, entre les rendements des deux cultivars, en fonction de leur rang de culture. La tendance linéaire que l'on constate sur les points représentatifs, et l'orientation régulière de ces figures, montrent que le comportement relatif des deux variétés en culture continue, n'est pas sensiblement modifié par les conditions de l'année. La période de végétation hivernale ne conditionne donc pas la réaction du Blé aux antécédents cultureux. En revanche, elle est à l'origine de la moindre variabilité des rendements du Blé d'hiver, par rapport à ceux du Blé de printemps, en conférant aux cultures d'automne une meilleure résistance aux conditions relativement sèches du printemps.

Un comportement différent, entre cultivars de type hiver et de printemps, a été recherché à la suite de séquences culturales extrêmement différenciées. En 1970-71, les variétés Champlain ( $\frac{1}{2}$  hiver), Alys (printemps), et Ch. Péguy (alternatif) semé à l'automne et au printemps, ont été implantées en comparaison, dans deux soles voisines. L'une des soles était auparavant en monoculture de Pomme de terre depuis 1962, l'autre étant une monoculture de Blé datant de 1900 (tableau 9).

La différence de fertilité entre les deux soles se manifeste très nettement, avec un écart de 12 q/ha. entre les rendements moyens (écart incluant probablement un léger effet "terrain"). L'interaction entre les variétés et les antécédents cultureux n'est pas significative, les trois variétés réagissent donc de façon analogue, aux modifications induites dans le sol par les deux séquences précédentes. Par ailleurs, les différences de productivité entre les variétés, et entre les dates de semis, sont hautement significatives. L'époque de semis de la variété Ch. Péguy, modifie sensiblement son comportement vis-à-vis des deux séquences culturales précédentes. Les baisses de rendement, entre le semis d'automne et le semis de printemps sont respectivement de 29 et 19%. En réalité, le semis d'automne a permis de mieux valoriser les effets résiduels favorables de la monoculture de Pomme de terre.

A la suite de ces résultats, nous avons cherché à préciser, dans d'autres expériences, si l'époque de semis (pour une variété alternative) était de nature à conditionner le comportement du Blé dans diverses successions de cultures.

d) Influence de la période de semis sur le comportement du Blé,  
dans différentes successions de cultures.

La variété alternative Ch. Péguy est régulièrement implantée, chaque année, dans trois successions céréalières:

- . Blé - Blé
- . Orge - Blé
- . Avoine - Blé

L'essai (n° 3), de type factoriel, comporte également deux époques de semis (automne et printemps).

Les résultats obtenus, entre 1973 et 1975 (tableau 10), montrent que, si les antécédents cultureux donnent lieu à des différences significatives sur le rendement des cultures-test de Blé (sauf en 1975), il y a de plus, une interaction "antécédent x époque de semis". Statistiquement, on met en évidence que l'Avoine constitue le meilleur précédent, parmi les trois céréales de printemps, vis-à-vis d'un Blé semé à l'automne. En semis de printemps, le rendement de la culture-test de Blé ne présente pas de différences significatives entre les trois précédents, que ce soit année par année, ou bien, en moyenne sur les trois ans.

On retrouve à cette occasion la moindre sensibilité attribuée, d'une façon générale, aux céréales de printemps, comportement que nous avons déjà évoqué. Cependant, dans nos conditions, ce phénomène n'est pas systématique, comme le montrent les résultats d'un autre essai sur les époques de semis, en monoculture de Blé.

Dans cette expérience (n°7), la rotation biennale servant de référence, est implantée depuis 1964. Quant aux monocultures : celle de Blé d'automne a succédé, à partir de 1971 et 1972 (l'essai contient deux phases de chaque succession), à une rotation céréalière "Orge - Blé", et la monoculture de Blé de printemps a prolongé, depuis les mêmes dates, une rotation "Pois - Blé".

L'étude des résultats (tableau 11) fait apparaître un effet hautement significatif de l'époque de semis, sur le rendement en grain. La réduction de la période de végétation se traduit essentiellement par la limitation du tallage-épi, dans le cas des semis tardifs. Cette expérimentation met aussi en évidence, l'importance de la culture précédant la monoculture de Blé: les effets résiduels du Pois se manifestent encore très nettement sur les rendements en grain des troisièmes Blés consécutifs, allant jusqu'à donner lieu (en raison d'un meilleur état sanitaire), en 1974, à une production équivalente à celle du Blé de

Betterave. D'après les résultats obtenus en 1975, le niveau de rendement des Blés en culture continue s'est stabilisé ; les quatrièmes Blés consécutifs ne réagissent plus aux anciennes successions incluant de l'Orge ou du Pois. Pour cette dernière année, le niveau des rendements du Blé en monoculture est inférieur à celui du Blé de Betterave (différence hautement significative); ceci est également vrai pour les résultats moyens des trois années (1973 à 1975).

Si les effets dus aux successions de cultures, d'une part, et à la date de semis, d'autre part, influent sur le rendement du Blé, ils restent cependant additifs. La diminution de la production de grain, consécutive au passage en monoculture, n'est pas significativement modifiée entre les trois époques de semis. On n'observe donc pas une sensibilité moindre, dans le cas du semis de printemps, vis-à-vis de la séquence culturale précédente; bien qu'il présente généralement, un meilleur état sanitaire (cf. étude de l'effet des traitements fongicides). Par ailleurs, le fait d'alterner les époques de semis, d'une année sur l'autre, n'influe pas sensiblement sur le rendement des Blés en monoculture. Ces résultats concernant les effets de l'époque de semis, et la séquence culturale sont illustrés par la figure 4.

## 2 - Rendement du Blé d'hiver en monoculture de longue durée.

Nous avons vu précédemment que la production en grain du Blé d'hiver subit, au cours des premières années de culture répétée, une régression significative, et cela, jusqu'au quatrième Blé consécutif. A partir des cinquième et sixième Blés, le rendement paraît stabilisé. On peut se demander si cette stabilisation observée dès les premières années de monoculture, donc sur une période où les effets résiduels des cultures précédant l'expérience, et même du passé culturel du champ, sont susceptibles de subsister, est définitive. Au contraire, il se pourrait que l'une, ou plusieurs, des modifications induites par la monoculture, provoque à terme une baisse sensible de la fertilité.

Une réponse à cette question peut être fournie, dans nos conditions expérimentales, par la confrontation des résultats obtenus pour la même variété de Blé d'hiver (Champlein). - avec des niveaux de fertilisation azotée voisins de l'optimum (120 à 150 u/ha, fractionnés pour moitié au tallage, et moitié à la montaison) - cultivée :

- d'une part dans des rotations quadriennales (avec 50 % de Blé) après Betterave ou Maïs, (essai n° 5),

- et d'autre part dans deux soles maintenues en monocultures, respectivement depuis 1965 et 1900 (essai n° 7 et 8)

En dépit d'éventuelles différences de fertilité difficilement appréciables (les soles en rotation et en monoculture sont distinctes), plusieurs conclusions s'imposent nettement, à l'examen du tableau 12 :

- le Maïs-grain et la Betterave fourragère (avec restitution de leur résidus) constituent, pour le Blé normalement fertilisé, des précédents culturaux ayant la même valeur moyenne, même si d'une année sur l'autre, leur classement peut être significativement modifié (interaction "précédent x année").

- l'ancienneté de la monoculture, qu'elle soit de l'ordre de 7 à 11 ans, ou qu'elle avoisine 70 ans, n'influe plus sur le rendement du Blé d'hiver.
- le parallèle entre les rendements moyens des Blés assolés, et des Blés en monoculture, montre que la diminution relative de la production (en moyenne sur les cinq années) est de 19 %, soit du même ordre de grandeur, que celle estimée précédemment, au cours des premières années de culture continue, sur la variété Cappelle. Les écarts observés, année par année, entre les rendements moyens des deux types de succession, s'avèrent être indépendants du niveau moyen de production (figure 5). Etant donné que la conduite des cultures est assurée avec le maximum de régularité, la variabilité de ces écarts (9 % en 1971, à 35 % en 1973), peut être attribuée, en grande partie aux phénomènes parasitaires. Il faut remarquer que cette comparaison porte sur des cultures non protégées par des traitements fongicides en végétation, ce qui tend à prouver, compte tenu des caractéristiques de résistance des deux variétés au piétin-verse, que, lors de ces dernières années les différences d'infestation cryptogamique entre les successions de culture, sont restées limitées.

### 3 - Discussion et conclusion sur l'étude du rendement en grain du Blé tendre, en monoculture.

Les résultats précédents ont été obtenus dans des conditions sensiblement analogues à celles de la pratique, sous un régime d'entretien "normal". En particulier, aucune série de parcelles expérimentales, dont il a été question jusqu'à maintenant, a fait l'objet de traitements fongicides, ou nématicides (seules les semences sont systématiquement traitées, cf. annexe III). Pour ces essais, le niveau de fumure azotée peut être qualifié d'optimum, pour la région et pour les variétés cultivées (100 à 150 u/ha). La seule adaptation technique, qui se soit révélée indispensable dans les monocultures est le recours à des traitements herbicides antigraminées et antichénopodées, en complément du programme de désherbage habituel (colorants nitrés, et phytohormones).

Dans nos conditions de milieu, l'extension des peuplements de graminées adventices constitue le principal symptôme de déséquilibre de l'agro-écosystème, sous l'effet de la monoculture du Blé\*. Au cours de ces dernières années, on peut considérer que la flore adventice, correctement contrôlée, n'a pas d'effets notables sur les Blés en monoculture.

En ce qui concerne l'évolution du rendement en grain du Blé, au cours des premières années de culture continue, les résultats obtenus montrent la bonne répétabilité du phénomène, d'une année sur l'autre. Ceci permet de discerner deux phases successives dans l'établissement de la monoculture.

- Au cours d'une première phase :

L'effet résiduel du précédent cultural (dans le cas présent : la Betterave fourragère), se manifeste avec une intensité qui décroît progressivement d'une récolte sur l'autre. Cette phase porte au maximum sur les quatre ou cinq premiers blés. Dans nos expériences, il n'a pas été possible, de faire la part entre les différentes causes des effets résiduels de la Betterave; en particulier entre :

- . L'effet du système racinaire de type pivotant, et des façons culturales associées (préparation superficielle du sol, récolte manuelle des racines).
- . Les conséquences sur la structure du sol, et sur la libération d'azote minéral, de l'enfouissement des parties aériennes (verts et collets).

Ces effets auraient pu être étudiés, si les dispositifs expérimentaux l'avaient permis, en comparant d'une part des parcelles avec incorporation des résidus culturaux au sol, et d'autre part, des parcelles-témoin dont les organes aériens de la Betterave auraient été exportés. Au cours de la période considérée (1972-1975), aucune relation n'a pu être mise en évidence entre les deux paramètres caractérisant cette première phase (figure 6) - l'intensité (écart de rendement entre le Blé de Betterave et les Blés en monoculture), et la persistance de l'effet résiduel de la Betterave (nombre de récoltes successives réagissant favorablement au précédent cultural) - et le niveau de production de la Betterave. On pouvait en effet considérer que la masse de ses restitutions organiques était sensiblement proportionnelle au rendement en matière sèche des racines, et que, compte tenu des fumures d'entretien appliquées, les exportations minérales par les récoltes étaient de fait inopérantes.

\* cf. l'influence de la succession des cultures sur l'évolution de la flore adventice (3e partie).

Une question reste donc en suspend : celle de la répartition dans le temps de l'effet résiduel d'une culture, et de son assujettissement aux conditions de végétation des cultures suivantes. Une telle analyse implique une expérimentation plus longue.

- La seconde phase, mise en évidence dans nos conditions expérimentales, couvre l'ensemble des cultures dont le rendement est stabilisé. Le Blé n'y subit que ses propres effets résiduels, évidemment caractérisés par le mode de conduite de la culture. La régularité du rendement, observée sur des cultures dont l'âge varie entre quelques années et jusqu'à plusieurs décennies, montre que, si la flore adventice est contrôlée, conjointement par les techniques culturales (déchaumage) et l'utilisation des herbicides actuellement disponibles, il n'y a pas d'autres effets cumulatifs dus à la monoculture (ou alors son effet limite est obtenu à brève échéance).

Dans le contexte expérimental, ceci prouve la faible incidence (même à terme) de la succession culturale sur la stabilité de l'agro-écosystème. Depuis le début de nos essais, aucun phénomène accidentel (à l'exception de la progression de certaines adventices), qui aurait pu être imputé au protocole, n'est survenu. La variabilité interannuelle des rendements des Blés en monoculture n'est pas significativement supérieure à celle du premier Blé ; l'établissement d'une monoculture dans ces conditions, ne présente donc pas de phase critique, caractérisée par un risque élevé d'effondrement du rendement, comme cela se produit dans les zones d'élection d'Ophiobolus graminis.

S'agissant de l'interruption de la monoculture, par une espèce différente, il ressort de la confrontation des résultats obtenus à court terme et à long terme, qu'une seule culture, telle que la Betterave, présente une efficacité suffisante si l'on en juge d'après les écarts relatifs identiques observés :

- entre le rendement du premier Blé suivant la coupure, et son niveau de stabilisation en culture continue (tableau 7),
- et entre les rendements moyens obtenus respectivement, en rotation, et en monoculture de longue durée (tableau 12).

Cette conclusion, qui est en accord avec les expérimentations réalisées précédemment à Grignon, justifie en quelque sorte le principe de ces expériences, où l'on suppose que sont recrées à la suite d'une seule culture de Betterave, les conditions d'implantation d'une monoculture. Ceci constitue probablement un indice du bon état sanitaire du sol de la station.

Il ressort de l'étude portant sur le niveau de production du Blé, en fonction du type de variété, ou de l'époque de semis, que les différences de comportement, signalées par plusieurs auteurs, ne se manifestent pas nettement dans nos conditions expérimentales. Il n'y a pas de réaction différentielle de la variété de type hiver et de la variété de printemps, quand on les cultive plusieurs années consécutives à la suite d'un même précédent. Par ailleurs, quelle que soit l'époque de semis d'une variété alternative, le rapport entre les rendements obtenus, en rotation et en monoculture, reste relativement constant. Ceci s'explique surtout par l'incidence limitée, de la répétition du Blé, sur les peuplements parasites.

L'homéostasie du milieu, et les possibilités de compensation au sein du végétal, se sont traduites par des réactions sensiblement uniformes du rendement en grain, à des interventions pourtant susceptibles d'engendrer des causes de variabilité. Le fait de changer l'époque de semis présente plusieurs implications :

- l'allongement de la période d'interculture. On peut supposer qu'il a pour principale conséquence de réduire les risques de contamination, d'une culture à l'autre, par les parasites présentant une forme saprophytique. En ce qui concerne Cercospora herpotrichoides, compte tenu de la date de contamination plus tardive, et des exigences (thermiques) de développement, le champignon atteint difficilement le seuil de nuisibilité sur les semis de printemps.

- l'accessibilité des sels minéraux solubles dans la solution du sol est différente, pour une variété de Blé d'hiver, et pour une variété de Blé de printemps. Ceci pourrait influencer, dans une certaine mesure, vis-à-vis de l'azote minéral provenant de l'évolution des résidus organiques de la culture précédente. Pendant la période hivernale, le système racinaire du Blé d'hiver n'explore que la couche superficielle du sol, mais ultérieurement, son développement, et sa densité sont supérieurs à ceux du Blé de printemps, d'où la meilleure utilisation possible des disponibilités du sol en cet élément.

- La réduction de la période de végétation. L'accélération du développement et de la croissance du végétal, paraît susceptible de modifier les besoins instantanés de la culture en éléments minéraux, et en particulier, en azote. Les besoins de la culture peuvent ainsi varier en amplitude, mais aussi selon leur répartition dans le temps. L'azote minéral disponible dans le sol sous une culture dépend, du point de vue de sa quantité et de sa répartition dans le temps, des antécédents culturaux, et des restitutions organiques qui leur sont associées.

On peut donc s'attendre à des différences de végétation, en fonction de l'époque de semis, dans des séquences culturales diversifiées, qui sont dues au décalage entre les phases de développement de la plante et la minéralisation de l'azote organique du sol.

Le fait que, dans nos conditions expérimentales, le comportement relatif du Blé ne soit pas différencié par l'époque de semis, doit s'expliquer par les caractéristiques du milieu et par le niveau de fertilisation de la culture. En effet, il se trouve que lors des quatre dernières années, les attaques parasitaires favorisées par les successions céréalières (surtout le piétin-verse) n'ait pas atteint une gravité importante, et en tout état de cause, n'ait pas joué un rôle discriminant entre les traitements expérimentaux. Par ailleurs, le niveau suffisant de la fertilisation azotée est à même de dissimuler de faibles différences d'alimentation induites par les précédents. Somme toute, le comportement différent des variétés d'automne et des variétés de printemps, mis en évidence dans les diverses expériences citées précédemment, semble pouvoir être expliqué par deux phénomènes, que l'on peut schématiser sous leurs traits principaux :

- la moindre discontinuité de la succession des cultures dans le cas du Blé d'automne, due à la période d'interculture réduite, qui revêt une importance accrue dans des conditions de milieu favorables aux parasites de la céréale. De ce point de vue le Blé d'automne apparaît comme étant plus exposé aux effets résiduels néfastes de la séquence culturale précédente, que ne l'est le Blé de printemps.

- la réduction de la durée du cycle de végétation du Blé de printemps, et les aspects physiologiques correspondants (notamment une production photosynthétique moindre que pour le Blé d'automne, d'où des besoins globaux en éléments minéraux et en eau inférieurs, et un développement décalé par rapport au Blé semé avant l'hiver) font que le Blé de printemps peut se révéler moins sensible aux effets résiduels favorable d'un précédent cultural qu'un Blé d'automne.

Dans ces conditions expérimentales, la moindre exposition à l'infection parasitaire induite par les antécédents culturels semble primer sur le deuxième aspect du phénomène, comme le montrent les faits suivants. L'une des rares interactions mises en évidence entre la date de semis et le précédent du Blé a été observé à la suite de trois céréales de printemps (Blé, Orge, Avoine). Les différences entre leurs exportations en éléments minéraux, et leurs restitutions organiques (racines et chaumes)

peuvent être considérées comme négligeables, c'est-à-dire que pratiquement, seules les caractéristiques parasitaires (C. herpotrichoides) étaient discriminantes. Par ailleurs, dans ces mêmes conditions de milieu, le Blé de printemps (inclus dans une rotation "Pomme de terre-Blé-Orge") réagit régulièrement, par un accroissement significatif du rendement, à un antécédent constitué par une prairie temporaire (Luzerne-Dactyle) de trois ans. Le fait que l'effet résiduel de la prairie se manifeste sur la culture de Blé de printemps, au-delà de la culture intermédiaire de Pomme de terre, dotée elle aussi d'effets très favorables pour la céréale, montre bien les limites de la seconde proposition énoncée précédemment.

C - Etude de la structure du rendement en grain.

Notre étude a surtout porté sur le rendement en grain. En tant que principal critère de la production céréalière, il permet d'apprécier, du point de vue technique et économique, l'intensité et la persistance des effets résiduels des antécédents cultureux, mais aussi d'étudier la régularité de leur manifestation sur la céréale. Dès lors que l'on s'intéresse à des phénomènes de ce type, qui, en modifiant le milieu cultivé, déterminent des variations dans la croissance et le développement des plantes, le rendement en grain ne suffit pas à révéler la nature et la chronologie de ces effets.

La notion de rendement que JONARD et KOLLER (1951) ont défini par rapport à la productivité - valeur potentielle de la production d'un cultivar donné - comme étant son expression annuelle dans une certaine situation culturale, caractérise l'aspect global de la production en grain. Dans l'optique des essais agronomiques, où il s'agit d'établir des relations à partir de modifications parfois complexes de l'agro-écosystème (puisque'une pratique culturale donnée peut provoquer des effets diversifiés, interdépendants), la façon dont le rendement en grain a été édifié, ainsi que les réactions morphologiques ou physiologiques du végétal, peuvent permettre de déceler les facteurs prépondérants du phénomène étudié. Ceci conduit à examiner préférentiellement les caractéristiques de la culture correspondant aux phases de la végétation les plus déterminantes vis-à-vis de l'édification du rendement en grain, caractéristiques qui sont généralement désignées par l'expression "composantes du rendement".

La structure du rendement intègre les différentes composantes ayant entre elles un système de relations complexe. Ces relations relèvent en partie d'un déterminisme génétique conférant les caractéristiques variétales, telles que la productivité, la potentialité de tallage, etc... Chaque composante du rendement est conditionnée par les composantes déterminées au cours de la période de développement antérieure. En outre, les conditions de milieu sont à même d'influer sur les composantes, mais aussi sur leurs relations. C'est ce dernier aspect que nous nous efforçons de développer dans notre étude, avant d'analyser certaines notations et mesures de la végétation, qui peuvent également permettre de préfigurer, ou d'expliquer la réponse finale du rendement en grain (JACQUARD et al., 1970).

1 - Éléments bibliographiques

a) aspect physiologiques et morphologiques de l'élaboration du rendement en grain du Blé.

La bibliographie relative à ces aspects est extrêmement abondante (JONARD et al, 1951 - 1964 et 1967 ; WATSON, 1952 et 1963 ; THORNE, 1966 - 1971 et 1974 ; YOSHIDA, 1972 entre autres).

Le rendement en grain de la culture de Blé se détermine progressivement au cours des phases successives du développement ; cependant, la période la plus importante débute vers la floraison, puisque la plupart des hydrates de carbone s'accumulant dans les grains, proviennent de l'activité photosynthétique de cette dernière phase (WELBANK et al., 1965 ; THORNE, 1966). La croissance avant l'épiaison conditionne le rendement en grain, par l'intermédiaire de la surface photosynthétique potentielle, et par le volume potentiel du "contenant" (c'est-à-dire par le nombre de grains par unité de surface)

Le peuplement initial, et son évolution, contribuent, en premier lieu, à déterminer le volume du "contenant". Au cours de la période de végétation, le nombre d'individus décroît progressivement, du fait des phénomènes de compétition s'établissant, d'abord, entre les racines, puis, également, entre les organes aériens (vis-à-vis de la lumière) (BALDY, 1974 a). C'est au cours de la montaison que sont éliminés les individus en surnombre.

La structure du peuplement dépend conjointement de l'évolution du tallage. La potentialité du tallage-épi est fixée dès le début du "redressement apparent" (stade B de JONARD, 1964). Les premières talles formées ont une probabilité de survie supérieure, en particulier, à celle des tardillons (BUNTING et DRENNAN, 1964). Au cours de la croissance, les talles sont affectées d'une forte mortalité, due initialement aux phénomènes de compétition interne (GREGORY et VEALE, 1957). Au fur et à mesure que le système racinaire adventif confère aux talles une certaine autonomie, l'évolution de leur peuplement résulte de la compétition pour la lumière. La mortalité des tiges, due aux attaques parasitaires, débute au cours du tallage, et peut se prolonger au-delà de la floraison (BALDY, 1974 a).

Le tallage-épi est l'un des éléments fondamentaux de la productivité (JONARD et KOLLER, 1951), en ce sens qu'il assure la régulation du peuplement des épis. Corrélativement à l'établissement de ce peuplement, se développent les organes assimilateurs (tiges, gaines et feuilles), qui subissent également les effets de compétition (ainsi que les influences diverses de l'environnement), d'abord au niveau méristématique, puis dans leur fonctionnement.

La capacité potentielle du "contenant" commence à se déterminer précocement ; le nombre total d'épillets est fixé à l'époque de l'initiation florale (SINGLE, 1964 ; RAWSON, 1970 et 1971). Le nombre de grains potentiel se révèle excessif dans le cas du Blé (BEVERIDGE et al., 1965), ce qui détermine, par la suite, l'avortement d'une certaine proportion d'épillets, lors de la montaison (HEBERT, 1969), dans les zones apicale et surtout basale de l'épi. Le nombre de grains par unité de surface est susceptible d'être régulé, compte tenu des compensations possibles entre le tallage-épi, le nombre d'épillets, et les proportions d'épillets et de fleurs fertiles.

Si le nombre de grains par unité de surface détermine partiellement le rendement en grain, celui-ci est également corrélé à l'indice de surface foliaire, intégré sur la période suivant l'anthèse (FISHER et KOHN, 1966). La surface photosynthétique utile, dans le mois qui suit la floraison, se limite à la feuille culmaire et à sa gaine, au dernier entre-noeud ainsi qu'à l'épi (BALDY, 1974 a). La seconde feuille n'est efficace qu'au début de cette période. La corrélation évoquée précédemment, n'est vérifiée que dans certaines limites, puisque le feuillage utile présente un optimum de développement vis-à-vis du rendement, au-delà duquel seule la production totale de matière sèche est augmentée (THORNE, 1974). Plusieurs séries de travaux tendent à montrer indirectement, que la surface photosynthétique, au moins dans les Blés d'hiver, est moins limitante par rapport au rendement, que ne l'est la capacité de l'épi à emmagasiner les hydrates de carbone (WATSON et al., 1963 ; THORNE, 1974). La taille du grain est physiquement limitée par celle des glumelles, et le poids moyen du grain apparaît comme un caractère variétal relativement stable. La contribution relative du "contenant", et de la surface photosynthétique vis-à-vis du rendement, reste cependant difficile à apprécier. Ceci est dû

à l'existence de corrélations internes, comme, par exemple, la compétition existant entre la feuille culmaire et l'épi au cours de leur croissance (YOSHIDA, 1972).

Cette analyse met en évidence qu'il est difficile d'interpréter les informations sur la structure du rendement de la céréale, en les reliant aux causes fondamentales de variations. Il nous apparaît donc nécessaire, non seulement d'étudier les niveaux moyens de ces composantes, mais encore, de comparer leurs corrélations.

b) Influence de l'alimentation azotée sur les composantes du rendement.

Parmi les effets résiduels des cultures (en particulier pour celles qui donnent lieu à des restitutions organiques ayant un rapport C/N bas), les variations des disponibilités en azote du sol, provoquent des réactions marquées de la culture suivante.

L'action de l'azote sur les composantes du rendement du Blé, a fait l'objet de nombreux travaux. Le niveau de l'alimentation azotée a des effets différents au cours des diverses phases successives.

- Jusqu'à l'époque du tallage, son action s'exerce directement sur le développement végétatif de la plante, avec une augmentation de l'indice de surface foliaire (PUCKRIDGE, 1963 ; THORNE, 1966), du développement des talles herbacées (COIC, 1952 ; BUNTING et DRENNAN, 1964), du nombre d'épillets (SINGLE, 1964).

- Au début de la montaison, les disponibilités en azote déterminent la proportion des talles herbacées devenant fructifères (HEBERT, 1969), ainsi que la fertilité des épillets, et par conséquent le nombre de grains par unité de surface (YOSHIDA, 1972).

- Après la floraison, le niveau de nutrition azotée agit exclusivement, par l'intermédiaire de l'activité assimilatrice, sur l'accumulation des réserves dans le grain (COIC, 1952), à condition que l'indice de surface foliaire, ou les caractéristiques climatiques de l'époque, ne soient pas limitants (THORNE, 1966). Ces disponibilités tardives en azote tendent à prolonger la durée fonctionnelle des organes chlorophylliens (JONARD, 1964).

Les conditions d'alimentation, au cours des différentes phases du développement, ont des effets interdépendants ; ainsi des disponibilités initiales élevées créant par la suite un besoin supplémentaire d'azote, pouvant se traduire par des compensations entre composantes (COIC, 1952).

c) Influence du piétin-verse sur les composantes du rendement.

Le facteur, qui avec la nutrition azotée, apparaît comme étant l'une des causes de variation dans nos essais de monoculture, est le parasitisme exercé par Cercospora herpotrichoides.

Les attaques du champignon qui se manifestent par des lésions localisées au niveau du premier entre-noeud, présentent des degrés de gravité variables, en fonction de l'importance de la surface nécrosée sur la section des tiges. L'incidence de la maladie, sur les composantes du rendement du Blé, a été étudiée de façon approfondie par PONCHET (1959).

En année favorable, son premier effet est la réduction du nombre de talles dans le courant de l'hiver. Cependant, en fonction de la précocité de l'attaque, des compensations, qui ne joueraient pas de façon systématique (DOUSSINAULT, 1973), peuvent se produire par l'émission de nouvelles talles.

Le plus souvent, les dégâts occasionnés par C. herpotrichoides se manifestent, ultérieurement, sur la productivité de l'épi. Une réduction de la fertilité de l'épi peut constituer l'une des conséquences les plus néfastes de l'attaque parasitaire (DOUSSINAULT, 1970). Dans les cas les plus graves, la maladie aboutit à l'échaudage des grains, tandis que les tiges peuvent verser en fin de végétation (LEMAIRE et JOUAN, 1969).

Il existe des différences variétales vis-à-vis de la sensibilité au piétin-verse (VINCENT et al., 1951 ; DOUSSINAULT, 1970 et 1973) ; le comportement d'une variété pouvant être différent selon son stade de développement ; ceci se traduit par des réactions différentes dans la structure de leur rendement en grain (DOUSSINAULT, 1973).

## 2 - Etude expérimentale des composantes du rendement du Blé.

Les modalités de l'analyse des composantes du rendement (échantillonnage, mode d'estimation, variabilité...) sont développées dans l'annexe IV. Ces différentes composantes sont les suivantes :

- . peuplement à la récolte (ou à la levée) = nombre d'individus génétiques.
- . peuplement-épi = nombre d'épis productifs.
- . coefficient de tallage-épi = nombre d'épis par individu.
- . productivité de l'épi = poids moyen de grain par épi productif.
- . poids de 1 000 grains.
- . fertilité de l'épi = nombre moyen de grains par épi productif.
- . peuplement en grain = nombre de grains produits par unité de surface.

(Dans cette étude les peuplements sont exprimés pour une surface d'1 mètre carré).

Dans les deux essais (n° 1 et 2) emblavés respectivement en Blé d'automne et en Blé de printemps, et sur une période de quatre années (1972 à 1975), il est possible d'étudier le comportement du Blé en fonction de son rang en monoculture, si l'on suppose qu'une année de culture de Betterave, avec restitution des verts constitue une coupure suffisante.

### a) Monoculture de Blé d'automne Cappelle.

(l'ensemble des moyennes élémentaires est récapitulé dans le tableau 13).

#### - Peuplement en individus.

Comme le montrent les moyennes de comptages pour l'ensemble de l'essai, qui figurent dans le tableau 14, il y a une nette régression du peuplement entre la levée et la récolte, régression dont l'amplitude varie selon les années, de 36 à 47 % par rapport au peuplement initial. Ce phénomène habituel en culture céréalière (BALDY, 1974 a) semblait au vu des résultats des années 1970 et 1971, lors de la période d'implantation de l'essai, pouvoir être amplifié par la culture continue du Blé, et constituer ainsi une cause de limitation du rendement. Ceci nous a conduit à majorer la densité de semis, de la dose "normale" de 250 grains par m<sup>2</sup> jusqu'à des doses avoisinant 350 grain par m<sup>2</sup>, l'objectif principal étant d'obtenir un peuplement épi optimum, indépendamment des interventions destinées à accroître le tallage-épi.

Au vu de ces résultats, les peuplements estimés lors de la récolte sont sensiblement identiques à ceux des Blés cultivés en rotation, avec des densités de semis "normales" avoisinant 250 grains par m<sup>2</sup>. Par exemple, le peuplement moyen de la variété Champlein en rotation biennale après Maïs ou Betterave, pour les quatre années considérées, est de 180 pieds par m<sup>2</sup>.

Le peuplement à la récolte est fonction linéaire du peuplement à la levée (figure 7), c'est-à-dire de la densité de semis, et la mortalité des pieds (en valeur relative) est indépendante du peuplement initial, dans la gamme pratiquée. En revanche, le peuplement-épi ne lui est pas directement lié (corrélation non significative à  $P = 0,10$ ).

L'augmentation de la densité de semis ne permet donc pas, à elle seule d'accroître le peuplement-épi.

Le peuplement à la récolte qui résulte d'interactions complexes entre le végétal et les conditions de milieu, apparaît, au vu de ces quatre années, avoir été principalement influencé par la pluviométrie hivernale (tableau 15): tout se passe comme si la mortalité des individus était accrue en cas d'hiver pluvieux. Ces conditions favorisent le développement des maladies cryptogamiques, et accentuent le lessivage de l'azote nitrique.

. Effet de la coupure par la Betterave, et du rang de la culture de Blé.

Au cours des différentes années d'expérimentation, aucune différence significative a pu être mise en évidence, tant sur le peuplement à la levée, que sur le peuplement à la récolte (tableau 13). De plus, les peuplements moyens (sur les 4 années) des différentes phases de la monoculture sont très homogènes, ce qui tend donc à montrer, qu'au cours des premières années de culture continue du Blé, l'effet résiduel de la Betterave, et concurremment, l'effet dû à la répétition du Blé, ne modifient pas, par le biais des conditions trophiques et parasitaires la mortalité des individus.

#### - Tallage et peuplement-épi

Compte-tenu des différences de peuplement à la levée, et de la mortalité des individus en cours de végétation, les peuplements à la récolte diffèrent significativement entre les années.

Cependant, le tallage-épi, par son rôle compensateur, a régularisé le peuplement-épi (seul le nombre d'épis de l'année 1973 est supérieur aux autres moyennes, alors que tous les contrastes entre les peuplements en individus étaient significatifs) la figure 8 met en évidence les différentes structures du peuplement-épi. Indépendamment de l'influence des conditions climatiques annuelles, le peuplement-épi tend à diminuer progressivement avec la répétition des cultures de Blé. Sur les moyennes des quatre récoltes, la différence entre les nombres d'épis du Blé de Betterave et du troisième Blé est significative; au delà de ce rang il y a stabilisation du peuplement. La réduction du nombre d'épi due à l'affaiblissement significatif du tallage-épi, qui se manifeste en moyenne dès le second Blé, atteint une amplitude de l'ordre de 7 %. Sur ces quatre années d'expérimentation, l'évolution du peuplement-épi, au cours des premières années de monoculture, est sensiblement régulière ; elle résulte cependant d'équilibres différents entre le peuplement en pieds et le tallage-épi. En 1972 et 1975 le rang de la culture n'influe pas de façon marquée sur le coefficient de tallage, contrairement aux deux autres années, pour lesquelles, les conditions plus favorables, ont permis d'obtenir un peuplement en individus plus élevé.

- Nombre de grains produits par unité de surface :

On retrouve au niveau de cette composante du rendement, déterminée lors de la phase d'accumulation des réserves dans les grains, la même tendance sur l'ensemble de la période d'expérimentation : la capacité d'accumulation des réserves se trouve significativement réduite, par la culture répétée, dès le troisième Blé.

A la réduction du peuplement-épi, se conjugue une baisse de la fertilité des épis (significative entre le Blé de Betterave et le sixième Blé), dont l'importance relative est sensiblement plus faible, les contributions respectives de ces deux composantes seront analysées plus précisément, compte-tenu des corrélations qui peuvent exister entre elles.

- Productivité de l'épi

Directement influencée par la fertilité de l'épi par le poids moyen du grain, les variations de cette composante doivent être analysées en relation avec la densité du peuplement, qui est elle-même significativement réduite sous l'effet de la monoculture. Entre les cultures successives de Blé, on observe une tendance à la

réduction de la productivité de l'épi, allant dans le même sens que la variation de peuplement. Elle se manifeste de façon significative, après regroupement des quatre années, entre le Blé de Betterave et le cinquième Blé.

Les figures 9 et 10 illustrent l'effet de la répétition du Blé sur la structure du rendement, représentée par la conjugaison des composantes complémentaires. Les variations de rendement en grain qui en découlent peuvent y être appréciées par rapport à la courbe hyperbolique dite d'"iso-rendement".

On y remarque que les composantes de peuplement (nombre d'épis et de grains par unité de surface) sont affectées par la répétition de la culture, dès le second Blé. En revanche, le poids de 1 000 grains ne diminue en monoculture qu'à partir du troisième Blé.

L'adaptation de la formule proposée par JONARD et KOLLER (1951), à chacun des couples de composantes complémentaires, est intéressante dans ce cas, pour estimer la part revenant à chacune d'entre elles dans la diminution de rendement. Nous retiendrons à cet effet, les second et cinquième Blés, en prenant le Blé de Betterave comme témoin. Soit  $(x, y)$  le couple des composantes complémentaires et  $r$  le rendement en grain correspondant, l'écart de rendement entre le Blé en monoculture (2) et le Blé de Betterave (1) s'écrit :

$$x_2 y_2 - x_1 y_1 = r_2 - r_1$$

d'où l'expression faisant apparaître les contributions relatives des deux composantes par rapport au rendement du Blé de Betterave :

$$\frac{(x_2 - x_1) y_1}{r_1} + \frac{(y_2 - y_1) x_2}{r_1} = \frac{r_2 - r_1}{r_1}$$

Les résultats présentés dans le tableau 16, montrent que la réduction du rendement, due à la répétition de la culture, est consécutive en premier lieu aux composantes de peuplement. Au fur et à mesure que l'âge de la monoculture augmente les caractéristiques de l'épi (et leur résultante : la productivité de l'épi) sont à leur tour affectées, au point d'intervenir pour moitié dans la chute du rendement.

b) Monoculture de Blé de printemps César.

(l'ensemble des moyennes élémentaires est récapitulé dans le tableau 17).

- Peuplement en individus :

Au cours de la végétation du Blé de printemps, le nombre d'individus régresse sensiblement ; ainsi entre la levée et la récolte, on constate une amplitude de variation, par rapport au peuplement initial, de l'ordre de 26 à 39 % (tableau 18).

A l'exception de l'année 1972, pour laquelle une variation hautement significative s'est manifestée, entraînant une interaction "année x rang de culture", il n'y a pas une tendance générale à la diminution du peuplement sous l'effet de la monoculture.

- Tallage et peuplement-épi :

En ce qui concerne le nombre d'épis par individu, deux éléments influent principalement :

- . l'effet favorable du précédent Betterave, qui en moyenne, est sensible sur le premier Blé ultérieur.
- . l'effet compensateur du tallage, qui peut s'extérioriser en présence d'un peuplement trop faible. Ce phénomène est significatif dans le cas du 4e Blé en 1972.

Le seuil à partir duquel cette réaction se produit, et l'amplitude de celle-ci diffèrent entre les années ; il en découle pour la période d'expérimentation une interaction "année x rang de culture", vis-à-vis du coefficient de tallage, et une tendance générale à la stabilisation du tallage, dès le second Blé, à un niveau légèrement inférieur (4,5 %) à celui du Blé de Betterave.

La figure 11 représente la structure du peuplement-épi, pour les quatre années considérées, c'est-à-dire la réaction du tallage par rapport au peuplement en individus. Sur cette période, il n'est pas possible de discerner précisément les caractéristiques climatiques modifiant de la sorte le peuplement du Blé de printemps. Par contre, l'amplitude de variation du peuplement-épi, entre le Blé de Betterave et le quatrième Blé, est sensiblement plus importante en 1972 et 1975, années où le niveau supérieur des températures moyennes de mars et d'avril (8,4 et 8,0°C, contre 6,6 et 6,3°C en 1973 et 1974) ont pu favoriser le début de la végétation et le tallage.

- Nombre de grains par unité de surface

Trois années sur quatre, cette composante de peuplement est significativement réduite, dans les cultures suivant le Blé de Betterave. L'année 1972 fait exception, puisque cette réduction y est sensible jusqu'au quatrième Blé.

Quoique marqué, ce phénomène est cependant atténué par rapport à ce qu'on observe dans le cas du peuplement-épi. La fertilité de l'épi tend à compenser la diminution de la densité des épis.

- Productivité de l'épi : fertilité et poids de 1 000 grains

Les résultats obtenus (tableau 17) montrent que, les composantes de l'épi sont presque uniquement influencées par les conditions de l'année. Les effets entraînés par la succession des cultures sont faibles. Sur les quatre années, la tendance à la compensation de la fertilité de l'épi, évoquée précédemment, n'est pas significative entre les Blés successifs. Le poids moyen des grains n'est pas, en moyenne, sensiblement modifié. En 1973, une pluviométrie plus importante en mai et juin, succédant à une relative sécheresse a permis la manifestation d'un effet favorable du précédent Betterave sur le premier Blé, lors de la migration des réserves dans les grains. Les composantes déterminées auparavant, à savoir le coefficient de tallage et la fertilité de l'épi, présentaient en 1973, comme le poids de 1 000 grains, leur niveau le plus bas. Tout se passe comme si les conditions climatiques moins favorables, avaient tendu à retarder les effets du précédent sur la végétation du Blé.

Pour l'ensemble des années considérées, la productivité de l'épi n'est pas significativement différente entre les quatre cultures successives. Aussi la diminution de rendement, observée au cours des premières années de monoculture, est-elle surtout imputable aux composantes de peuplement (figures 12 et 13).

Par le même calcul que dans le cas du Blé Cappelle, on peut estimer la contribution relative des composantes à la diminution du rendement, pour les seconde et quatrième cultures (tableau 19). Cette approche, surtout intéressante pour comparer les deux variétés étudiées, montre bien la prédominance des composantes de peuplement par rapport à celles de l'épi, vis-à-vis de la baisse de production en monoculture.

c) Comparaison des variétés Cappelle et César en monoculture.

A la suite des analyses précédentes, certaines particularités des deux cultivars peuvent être dégagées, concernant l'influence de la monoculture sur les composantes du rendement en grain.

D'une façon générale, le peuplement en individus n'est pas modifié par la répétition de la culture ; cependant, dans les deux variétés, la mortalité en cours de végétation affecte entre 26 et 47 % des individus (la comparaison de la mortalité entre les deux cas ne présente pas d'intérêt puisque les densités de semis sont différentes). A la récolte, la variabilité du peuplement en individus, entre les phases successives de la monoculture, serait plus importante pour le Blé de printemps (années 1972 et 1973). S'agissant du tallage, les deux variétés réagissent de façon analogue au précédent Betterave. L'effet résiduel de cette culture se manifeste, au plus, sur les deux Blés suivants, mais au delà, un comportement différent semble se manifester : quel que soit le peuplement en individus, le tallage-épi de Cappelle n'a jamais de rôle compensateur, contrairement à ce qu'on peut observer sur César. Ceci devra être relié à l'état sanitaire du Blé d'hiver, et notamment à la présence de champignons du pied, dont la conséquence d'une attaque précoce est la réduction du tallage.

Au niveau des composantes de l'épi, le comportement des deux variétés en monoculture, est bien différencié. Tandis que la productivité de l'épi de Cappelle décroît progressivement du Blé de Betterave jusqu'au cinquième Blé (en raison d'une réduction correspondante de la fertilité, et de la formation de grains plus petits dès le troisième Blé), dans le cas de César, ces composantes de l'épi ne sont pas affectées par la répétition de la culture sur la même parcelle.

3 - Etude statistique de la structure du rendement.

En regard de la multiplicité des facteurs mis en jeu par les antécédents culturels, et des diverses conditions de milieu susceptibles d'interférer, la variation des rendements qui résulte de la culture répétée du Blé est remarquablement reproductible. Ces réponses analogues d'une année sur l'autre, malgré des conditions de végétation différentes, met en évidence la "plasticité" du matériel végétal. La production végétale est en grande partie déterminée par les relations qui se manifestent au sein des peuplements cultivés (JACQUARD, 1975), ces relations peuvent jouer à différents niveaux : organe, plante, ensemble de plantes, et, comme nous l'avons vu précédemment, donner lieu, à partir de structures distinctes, à des peuplements ou à des rendements semblables.

L'étude qui va suivre est destinée à analyser les modifications de la structure du rendement en grain, induites par la séquence culturale précédente. Cette étude porte sur trois années successives (1973 à 1975), et sur les deux dispositifs expérimentaux (n° 1 et 2), emblavés en Blé d'automne et en Blé de printemps.

On s'y propose de compléter l'étude précédente qui portait sur les niveaux moyens des composantes du rendement, en analysant les conséquences des différents facteurs mis en jeu (année, cultivar, et principalement le rang de culture dans la succession), sur les relations existant entre les différentes composantes.

Deux approches statistiques ont été réalisées :

. l'une par les coefficients de corrélation totale, entre les composantes (calculés sur les résidus de l'analyse de variance, selon les modèles théoriques des plans d'expérience - cf. SCHEFFE, 1967),

. l'autre approche a pour but d'expliquer la variable qu'est le rendement en grain, par les différentes "variables explicatives" que sont ses composantes. Nous avons retenu la méthode de la régression multiple progressive, qui consiste à introduire les variables "pas à pas", de façon ordonnée, jusqu'à l'obtention du meilleur ajustement (DRAPER et SMITH, 1966).

#### Note méthodologique

Quelques remarques s'imposent à propos des limites de cette étude, et du mode, d'interprétation des résultats.

1 - Les deux approches sont basées sur les corrélations linéaires.

Or il est évident que les relations existant entre les composantes, (ou entre les composantes et le rendement) peuvent suivre des modèles différents, et en particulier des modèles de type curvilinéaire. Ceci peut expliquer l'absence de signification statistique de certaines corrélations entre une composante "composite" - produit de deux composantes élémentaires - et ces composantes, ou encore, entre le rendement et un ensemble de composantes complémentaires.

Par ailleurs, des corrélations "évidentes" ne présentent pas d'intérêt dans le cadre de l'étude : elles sont dans tous les cas hautement significatives. C'est le cas de celles qui relient les trois composantes de peuplement (individus, épis et grains par m<sup>2</sup>), ou de celles existant entre la productivité de l'épi et ses deux composantes

(fertilité de l'épi et poids de 1 000 grains). L'étude portera donc principalement sur les corrélations entre les composantes de peuplement et les composantes de l'épi.

2 - Le schéma d'interprétation est le suivant :

- . liaison positive entre deux variables : la réponse linéaire de la variable d'"aval" vis-à-vis de la variable d'"amont" (d'après la chronologie de leur détermination), tend à montrer que cette dernière constitue son facteur limitant.
- . absence de liaison entre les deux variables ainsi désignées : la variable d'"aval" se situe dans la zone de non réponse (au voisinage de l'optimum) vis-à-vis de la première, d'où leur "pseudo-indépendance".
- . liaison négative entre deux variables. On distingue deux cas :
  - si l'une des variables est une composante de l'autre, ce type de liaison caractérise un dépassement de l'optimum pour la variable d'amont.
  - si les deux variables sont des composantes complémentaires par rapport à une troisième, cette liaison traduit le rôle compensateur de la variable d'aval vis-à-vis de la variable d'amont.

### Résultats :

#### a) Caractéristiques variétales de la structure du rendement.

Les corrélations "intra-classes" représentées selon des graphes (figure 14) ont été obtenues à partir de l'analyse de variance, portant sur 3 années 1973-74 et 75, et incluant les blocs, les différentes phases de la monoculture, ainsi que les deux doses d'azote. Ces corrélations permettent de caractériser les relations entre les composantes du rendement, indépendamment des facteurs de variation pris en compte par le plan d'expérience.

En suivant l'ordre chronologique de la détermination des composantes au sein des peuplements de Blé, la première distinction entre les deux cultivars concerne la structure du peuplement-épi. La corrélation négative entre le tallage-épi et le peuplement en individus (à la récolte) n'apparaît que dans le cas de la variété Cappelle. La régulation du peuplement-épi y est ainsi mieux assurée que pour la variété de prin-

temps en raison des potentialités différentes de tallage. Pour César, les peuplements en grains et en épis sont liés positivement au tallage, montrant ainsi que cette dernière composante reste limitante. Le nombre de grains par épi tend à compenser les variations du tallage-épi, ce qu'on n'observe pas chez Cappelle. On peut se demander si les phénomènes de compétition entre les tiges à l'intérieur d'un même individu, qui ont été signalés par LUPTON (1966 et 1969), ainsi que par RAWSON et HOFSTRA (1969), n'ont pas une incidence plus marquée dans le Blé de printemps. Les phases de développement y étant plus courtes, les besoins instantanés s'en trouvent relativement accrus.

La corrélation négative existant entre la fertilité de l'épi (et donc la productivité), et le peuplement-épi, semble être due à l'existence d'une relation de type parabolique entre ces deux composantes. Ceci est à rapprocher des observations faites par BEVERIDGE et al. (1965) sur l'évolution du nombre de grains, de la floraison jusqu'à la maturité du Blé.

On remarque par ailleurs, que le poids de 1 000 grains est indépendant des autres composantes et en particulier de celle qui lui est complémentaire : le nombre de grains par m<sup>2</sup>, ceci tend à prouver la prédominance des conditions climatiques durant la phase d'accumulation des réserves, sur les caractéristiques culturales antérieures.

b) Variation interannuelle de la structure du rendement. (figure 15)

En ce qui concerne Cappelle, la structure du peuplement-épi, et celle de la productivité de l'épi, restent stables sur les trois années considérées. En revanche, les corrélations entre ces deux ensembles de composantes présentent des différences importantes. En 1973, la productivité de l'épi, par l'intermédiaire de la fertilité, tend à compenser les variations du peuplement-épi. Ceci n'est pas le cas en 1974 et 1975, où il y a "indépendance" entre le peuplement et les caractéristiques de l'épi. Pour 1974, la seule année où la fertilité de l'épi ait subi des variations significatives, cette composante est plus déterminante vis-à-vis du peuplement en grain. Les corrélations mises en évidence en 1973 s'expliquent par le niveau élevé du peuplement-épi de Cappelle (459 épis/m<sup>2</sup>), pour le contexte local. La compétition interne s'en est trouvé accrue, et s'est manifestée sur le nombre d'épillettes fertiles,

au cours de la montaison, et sur la fertilité des épillets, pendant la formation des grains.

La structure du rendement de la variété César subit des modifications notables, d'une année sur l'autre, surtout au niveau des relations entre le tallage-épi et les composantes de l'épi. D'une façon générale l'intensité du tallage-épi conditionne la productivité, par le biais de la fertilité de l'épi. En 1975, avec des niveaux moyens des différentes composantes, les variations de tallage ont pu être compensées par le poids de 1 000 grains.

c) Modification de la structure du rendement en fonction des antécédents culturaux.

Dans cette étude, nous ne considérerons que trois des cultures successives de Blé, qui suffisent à résumer l'évolution des relations entre composantes, au cours des différentes phases de la culture continue (à savoir : les premier, second et quatrième Blés. Le troisième Blé a une structure intermédiaire entre celles des second et quatrième Blés, tandis que celle du cinquième est analogue à la structure du Blé précédent.)

Variété Cappelle (figure 16)

La comparaison des graphes des corrélations totales (intra-classes), entre les trois phases de la monoculture, montre que le rôle tenu par certaines composantes, au sein de la structure du rendement, est sensiblement modifié.

- En cours de végétation, le niveau de peuplement (en individus) tend à influencer sur la fertilité de l'épi, dans le cas des deux seules premières cultures. Pour le Blé en monoculture (4e), il semble que la fertilité, plus faible en moyenne, ne puisse pas jouer ce rôle compensateur.
- Le tallage-épi n'est à même de compenser le peuplement en individus, que dans le cas du Blé de Betterave. Au contraire, dans les 2e et 4e Blés, sa corrélation positive avec les peuplements en épis, et en grains, met en évidence son caractère limitant vis-à-vis de ces composantes. Par contre, dans ces deux cultures, le poids de 1 000 grains tend à compenser les variations du tallage-épi, dont le niveau moyen est significativement réduit.

- Dans les différentes cultures, la productivité de l'épi et le peuplement-épi, présentent une liaison négative. Pour le premier Blé, cette corrélation est surtout due à la fertilité de l'épi, tandis que dans les autres cas, elle est induite par l'intermédiaire du poids de 1 000 grains.
- Ces modifications se traduisent finalement par une compensation entre la dernière composante déterminée, le poids de 1 000 grains, et sa composante complémentaire, le peuplement en grains.

Il semble donc que, dans le cas des Blés sur Blé, la capacité d'accumulation des réserves dans l'épi constitue la principale cause de limitation du rendement en grain ; l'étude des moyennes avait en effet, montré que le nombre de grains par unité de surface y était significativement plus faible. Ceci montre que les effets résiduels des antécédents culturels, se manifestent surtout au cours de la phase correspondant à sa détermination (jusqu'au début de la formation des grains).

Les résultats des régressions multiples progressives établies entre le rendement et les différentes associations de composantes complémentaires (tableau 20), mettent en évidence la prépondérance des composantes de peuplement. Le rendement est, dans tous les cas, fonction linéaire des peuplements en épis et en grains - ce qui tend à montrer que, pour la dose d'azote considérée (100 u/ha), le niveau de ces composantes se situe en deçà de leur optimum. Dans toutes les phases de la monoculture, la contribution du peuplement en individus est significative mais compte-tenu du nombre de variables retenues dans le meilleur ajustement, et des seuils de signification correspondants, elle apparaît plus importante dans les Blés sur Blé. Le tallage-épi est ensuite la variable la plus influente, sauf dans le cas du Blé de Betterave, où la fertilité de l'épi joue un rôle particulier (en raison de la compensation existant avec le peuplement en individus).

Ainsi, selon la place du Blé dans la séquence culturale, les composantes limitantes vis-à-vis du rendement ne sont pas les mêmes. Le tallage-épi ne semble pas avoir la possibilité, dans les Blés sur Blés de compenser les variations du nombre d'individus, et son incidence devient déterminante vis-à-vis de la diminution de rendement en grain.

Variété César (figure 16)

Dans le cas de cette variété de printemps, les corrélations entre les composantes du rendement sont moins nettement modifiées, que ne le sont leurs relations avec le rendement en grain. Le Blé de Betterave est caractérisé par l'absence de corrélations négatives, entre les composantes de l'épi et celles du peuplement, ce qui traduit un développement équilibré du végétal (peuplement voisin de l'optimum). Par contre, dans le second Blé, des compensations se manifestent entre la fertilité de l'épi, et les composantes de peuplement. Dans cette phase, la fertilité, n'étant pas à son optimum (contrairement au cas du quatrième Blé), a pu tendre à régulariser le peuplement en grains. Dans le Blé en monoculture (4e), la modification la plus profonde de la structure du rendement concerne l'apparition d'une corrélation positive entre le poids de 1 000 grains, et le peuplement en grain. En l'occurrence, il semble que le poids moyen des grains, ait été directement influencé par l'indice de surface foliaire intégré sur la période de formation des grains. On peut considérer que cette caractéristique est sensiblement proportionnelle au nombre de grains par unité de surface - c'est-à-dire au nombre et à la taille des épis (HSU et WALTON, 1971 ; THORNE, 1973).

Les effets résiduels des précédents modifient les relations entre les composantes et le rendement (tableau 20). Les régressions progressives montrent que, pour le Blé de Betterave, la composante primordiale est la fertilité de l'épi, tandis que pour les Blés sur Blés, le rendement en grain dépend, en premier lieu, du poids de 1 000 grains. Ceci permet de mettre en évidence le rôle limitant que jouent ces composantes vis-à-vis du rendement. Pour le second, et surtout pour le quatrième Blé, la réduction du rendement semble être due au moindre développement de l'appareil photosynthétique, dont l'incidence s'est manifestée, plus sur le "contenu" (poids moyen du grain), que sur le "contenant" (nombre de grains par unité de surface).

Conclusion

Cette étude de la structure du rendement en grain, a permis de préciser l'origine des variations de rendement, mises en évidence au cours de la culture répétée du Blé. Dans le cas de la variété d'hiver, la diminution du tallage-épi apparaît déterminante, et se traduit par une réduction du "contenant". Le rôle secondaire que joue le poids de 1 000 grains, limité essentiellement à la compensation des composantes

d'"amont" peut s'expliquer par sa liaison étroite avec les conditions climatiques lors de la formation des grains. Il peut aussi être dû au fait que le niveau de développement de l'appareil photosynthétique du Blé d'hiver soit excédentaire, vis-à-vis de la production des hydrates de carbone nécessaire à la formation des grains. Par contre, dans le cas du Blé de printemps César, la diminution du tallage-épi, observée en monoculture, s'accompagne d'une réduction de la surface du feuillage utile. Celle-ci s'avère préjudiciable vis-à-vis de l'accumulation des réserves dans le grain, d'autant plus que le poids de 1 000 grains constitue une composante principale du rendement de ce type de variété.

D - Etude des réactions plastiques et chimiques du Blé.

Si les composantes du rendement permettent de caractériser la réaction "efficace" du peuplement végétal, vis-à-vis de la production de grain, elles ne traduisent que partiellement le comportement de la culture.

Elles résultent des modifications morphologiques et physiologiques que subissent les plantes au cours de leur développement, sous l'influence des facteurs du milieu cultural. Mais elles ne traduisent pas toujours certaines réactions plastiques du peuplement, comme par exemple, l'émission tardive de talles qui resteront improductives, ou les variations de la croissance de l'appareil végétatif, importantes sur le plan de l'activité photosynthétique (hauteur des pailles, surface des feuilles, rapport de masse entre grain et paille), ou encore, les variations dans la configuration des organes reproducteurs, qui sont en liaison directe avec la fertilité et la productivité des épis.

Par ailleurs, les facteurs du milieu cultivé sont susceptibles d'influer sur la composition minérale des organes végétaux, et par là-même, sur la qualité des produits et sur les exportations par les récoltes.

L'étude de certaines de ces caractéristiques de la plante, est donc susceptible de fournir des informations supplémentaires sur l'origine des effets résiduels des cultures.

1) Modifications de l'appareil végétatif du Blé en monoculture.

L'examen visuel des parcelles de Blé ne permet pas en général, de déceler des différences entre les rangs de la monoculture, avant que la montaison ait débuté. A partir de cette phase de développement, seul le Blé de Betterave se distingue sensiblement des cinq cultures de Blé sur Blé par sa végétation plus luxuriante, et en particulier par une hauteur et une densité supérieure (HUET, 1972). Compte tenu de l'importance des conditions de végétation au cours de la phase végétative du Blé, vis-à-vis de la production de grain, des mesures ont été réalisées au cours de l'hiver et avant le départ de la végétation.

Les pesées des organes aériens du Blé, effectuées au début de l'année 1973, traduisent l'insignifiance des différences existant, au cours des premières phases de développement, entre les rang successifs de la monoculture.

L'effet résiduel des précédents ne commence à se manifester, sur la croissance pondérale en matière sèche, que vers la fin du tallage (tableau 21). C'est le tallage herbacé de la céréale qui extériorise la première réaction mesurable, aux précédents cultureaux. Les comptages réalisés en 1973 et 1975, mettent en évidence des taux moyens de tallage, supérieurs dans les Blés de Betterave, par rapport aux Blés sur Blé (tableau 22). A cette période de la végétation, les différences observées sont imputables à l'effet favorable de la coupure par la Betterave, sur les conditions trophiques (disponibilités en azote et état structural) de la (ou des) culture(s) de Blé suivante(s), puisqu'au cours des différentes années d'expérimentation, les symptômes d'attaques parasitaires sont toujours apparus plus tardivement.

L'évolution des talles herbacées, déterminante vis-à-vis du peuplement-épi, se traduit, pour une partie d'entre elle, par leur montée tardive ou leur avortement. L'étude de la structure du peuplement, qui a été réalisée sur des échantillons prélevés pendant la montaison en 1973 et 1974, permet de montrer que la réduction du tallage-épi en monoculture de Blé découle des différences apparaissant au cours du tallage herbacé. On constate, d'après le tableau 23, que les variations du nombre de talles avortées par individu, suivent sensiblement celles du coefficient de tallage-épi. La proportion de ces tardillons n'est pas plus élevée en monoculture qu'à la suite de la Betterave.

La réduction du nombre d'épis productifs, en monoculture, traduit donc des conditions de végétation moins favorables lors du tallage herbacé. L'absence de distorsion, entre le tallage potentiel de la céréale et son tallage-épi, montre que la structure du peuplement ne subit pas de modification accidentelle au cours de la montaison. Compte tenu de ces observations, il resterait à préciser quels sont les processus qui, au niveau du fonctionnement racinaire, aboutissent aux réactions observées sur le végétal. Le parasitisme, comme nous le verrons par la suite, ne semble pas jouer un rôle déterminant dans les variations du peuplement-épi. Par ailleurs, il est actuellement difficile d'établir des relations précises entre les modifications des conditions trophiques du sol, dues aux cultures précédentes, et les réactions du végétal.

Comme le montre le tableau 24 qui résume des mesures faites sur des échantillons prélevés en 1973, 1974 et 1975, le rapport pondéral des caryopses (à maturité), sur les organes végétatifs aériens du Blé (chaumes, tiges et feuilles), n'est pas sensiblement modifié en fonction du rang de la monoculture. La croissance de l'appareil végétatif prédétermine donc, de façon remarquablement fidèle, le rendement en grain ; ce qui tend également à montrer, que les variations de rendement observées ne sont pas le fait d'accidents de végétation.

Des études systématiques de l'évolution pondérale des principales parties de la plante ont été réalisées en 1973 et 1974 dans chaque phase de la monoculture afin de déceler d'éventuelles anomalies au cours de la formation des grains. Pour ce faire, on a distingué :

- . les caryopses,
- . le feuillage utile au cours de la période considérée (la feuille culmaire, sa gaine et le dernier entre-noeud), et
- . le reste de l'appareil végétatif aérien.

A titre d'exemple, la figure 17 représente la croissance de la variété Cappelle cultivée à la suite d'une Betterave, et en sixième Blé derrière ce même précédent. On peut constater que les courbes de croissance sont similaires dans les deux cas. Les différences existant entre les niveaux de développement de l'appareil végétatif des deux Blés, et en particulier entre leur surface assimilatrice, restent pratiquement constantes. La croissance pondérale des grains est sensiblement proportionnelle à l'importance du feuillage utile, en dépit de :

- l'approximation faite en se référant à la masse des organes chlorophylliens, et non pas à leur surface d'interception,

- et aussi des légères différences dans la période fonctionnelle de la surface foliaire efficace.

Pour les deux années considérées, les poids de 1 000 grains restent relativement indépendants du niveau de développement des parties culmaires de la tige, ce qui tend à montrer que la surface assimilatrice n'a pas constitué un facteur limitant de l'accumulation des réserves dans l'épi (ceci corrobore les résultats de l'étude des composantes du rendement).

La configuration de l'épi subit des modifications sensibles, qui ne se manifestent pas toujours sur les composantes de sa productivité. Une étude détaillée des épis de la variété Cappelle, en 1971, a montré que la répartition des réserves dans les caryopses peut s'effectuer différemment le long de l'épi (HUET, 1972). Dans le Blé de Betterave, les avortements des épillets de la base sont apparus plus nombreux que dans les Blés sur Blé, tandis que les épillets des zones médianes et apicales étaient significativement plus productifs.

Le tableau 25 met en évidence les variations affectant les épillets, à partir de comptages effectués à la récolte de 1974. Le nombre total d'épillets tend à être plus élevé dans les épis du Blé de Betterave (ce qui avait déjà été observé en 1971). Il en est de même pour le nombre d'épillets fertiles, puisque le taux d'avortement (basal et apical) reste inchangé. Il apparaît que la fertilité de l'épi, qui diminue en monoculture, suit les variations du nombre d'épillets fertiles. Le nombre total d'épillets par épi, et le niveau de développement de la partie culmaire de la tige sont liées (corrélation significative à  $P = 0,05$ ). Ceci montre que l'effet favorable du précédent Betterave sur le Blé, est induit de façon précoce, puisque le nombre d'épillets est déterminé vers la fin du tallage (RAWSON, 1970), et qu'il se prolonge de façon soutenue jusqu'à la formation des grains.

## 2) Influence de la monoculture sur la composition chimique du Blé

Les analyses chimiques (azote total, phosphore et potassium) qui sont systématiquement effectuées\* sur la récolte de grain, et lors de ces dernières années sur la paille, montrent, d'une façon générale, que la composition du végétal, en ce qui concerne les trois principaux éléments apportés par la fumure, présente une variation interannuelle bien supérieure à celle que peuvent induire les antécédents cultureux.

\* les analyses chimiques sont réalisées par le Laboratoire d'Analyse Végétale de l'I.N.A. P-G Centre de Grignon.

On constate tout d'abord que les teneurs en phosphore et en potassium du grain et de la paille (tableau 26 pour le Blé Cappelle, et tableau 27 pour le Blé César) ne sont pratiquement pas influencées (à quelques exceptions près), par la séquence culturale précédente. Compte-tenu des fumures de fond appliquées (P205 et K20 : 100 u/ha), qui peuvent être considérées comme suffisantes dans ce type de sol, ceci justifie qu'on puisse négliger, jusqu'à maintenant, l'incidence de ces éléments, dans les effets résiduels. Plus intéressantes sont les informations concernant l'azote (tableau 26 et 27), puisque par exemple, on constate qu'en 1971, 1973 et 1975 pour la variété Cappelle, ainsi qu'en 1973 et 1975 pour César, l'effet résiduel de la Betterave entraîne un enrichissement du grain de la culture suivante, en cet élément. L'irrégularité de cet effet résiduel de la Betterave sur la composition de la récolte qui lui succède, reste difficile à interpréter dans l'état actuel des connaissances. On peut penser que, de ce point de vue, la vitesse de minéralisation des restitutions organiques est un élément déterminant. Si la minéralisation de l'azote organique coïncide avec la croissance active du Blé sans être soutenue par la suite, la photosynthèse nette à l'hectare peut être augmentée plus que proportionnellement, par rapport au rendement en grain. Au contraire, la libération importante d'azote, alors que la croissance de l'appareil végétatif se termine, provoque une augmentation de la concentration de cet élément dans le grain (COIC, 1962).

Afin de chercher à préciser dans quelle mesure les disponibilités en azote du sol pouvaient différer, sous l'effet des séquences culturelles précédentes, au cours de la phase de formation des grains, nous avons suivi l'évolution de l'azote du grain. La figure 18 illustre les résultats obtenus en 1972 sur des échantillons d'une trentaine d'épis, prélevés dans les diverses répétitions du dispositif. Les exportations en azote, rapportées à l'unité de surface, suivent sensiblement la même évolution que la matière sèche des grains. Au cours de l'intervalle d'étude, la teneur en azote du grain varie de 2,64 à 1,78 % de la M. S. pour le Blé de Betterave contre 2,54 à 1,80 % pour le sixième Blé, c'est donc la différence d'accumulation de la matière sèche qui est à l'origine de l'écart entre les exportations en azote du grain.

En 1973, le contrôle de l'évolution de l'azote a été étendu à l'ensemble des organes aériens de la plante, en distinguant les caryopses, le dernier

entre-noeud, la feuille culmaire et sa gaine, et la partie inférieure de la plante. Pour le Blé de Betterave, comme pour le sixième Blé de la monoculture, la quantité d'azote contenue dans les différentes parties de la plante évolue de façon analogue, avec un appauvrissement de la partie culmaire (correspondant à la migration des métabolites vers l'épi), et de la partie basale de la plante, (dû essentiellement à la disparition des feuilles inférieures). Comme pour les résultats de l'année précédente, l'écart entre les exportations en azote des deux Blés s'explique plus par la différence de croissance de la matière sèche, que par une variation de la teneur.

### Conclusion

Il est évident, d'après les résultats obtenus, que les effets résiduels des cultures, relatifs dans notre expérimentation, aux précédents Betterave et Blé exercent une influence assez faible sur la composition chimique de la récolte de Blé. En ce qui concerne les disponibilités en éléments minéraux dans le sol, à la suite de ces deux précédents, l'azote (sous forme minérale), par sa quantité globale sur l'ensemble de la campagne et par sa vitesse de libération, constitue la principale cause de variation. Il apparaît que la culture de Blé y réagit plus, par sa croissance pondérale en matière sèche, que par sa composition chimique. Ceci s'explique par le fait que les résultats présentés concernent la période finale de végétation, alors que l'azote des résidus de récolte est en grande partie libérée au cours de la croissance de l'appareil végétatif. L'absence de variation systématique dans la composition chimique des pailles, qui reflète mieux que celle du grain, les disponibilités en éléments minéraux du milieu, tend à montrer qu'en fin de végétation, les différences dans les quantités d'azote minéral, disponibles après les deux précédents, sont négligeables.

## E - Etude de l'état sanitaire du Blé.

Au cours de la période d'étude (1972 à 1976), l'état sanitaire du Blé tendre peut être caractérisé de la façon suivante :

. Par un développement en général modéré, à faible, des maladies du feuillage et de l'épi (Erysiphe graminis, Puccinia striiformis, Septoria nodorum, Fusarium culmorum). La variété Joss en 1974 et 1975, ainsi que Champlain en 1975 ont cependant subi des attaques plus graves de rouille jaune (P. striiformis). En 1973, une attaque de Septoria tritici s'est développée au début de la végétation sur Cappelle (stade 4 feuilles), mais de façon uniforme dans l'ensemble des traitements expérimentaux.

. Les maladies du pied, dues essentiellement à Cercospora herpotrichoides, et secondairement à Fusarium culmorum (sauf en 1976 où ce champignon était prépondérant) ont entraîné l'apparition des symptômes les plus graves et les plus nombreux. Leur développement apparent diffère cependant très nettement d'une année sur l'autre (1972 : peu de symptômes - 1973 et 1976 : attaques faibles mais tardives - 1974 et 1975 : attaques de gravité moyenne se développant tardivement).

### 1 - Mode de notation

Pour chaque type de maladie, les pathologistes proposent différentes méthodes d'appréciation de l'infestation, à partir de la fréquence et du degré d'évolution des symptômes. On distingue l'incidence de la maladie ("disease incidence") correspondant au nombre de plantes infestées par unité de surface, de la gravité ("disease severity") définie différemment selon les effets de la maladie (ROTHAMSTED St. Rep., 1962 ; JAMES et SHIH, 1973). Le premier paramètre dépend surtout de la quantité d'inoculum, et des conditions de la contamination, alors que le second intègre en plus les conditions de développement de la maladie.

Parmi les systèmes de notations utilisés dans le cas du piétin-verse, certains comportent deux échelles : l'une pour les plantules, et l'autre pour les plantes adultes. PONCHET (1959) propose de noter les premières selon le nombre de gaines présentant un stroma, et les secondes, d'après l'importance de la section de la tige nécrosée par le parasite. Cette échelle, correspondant au système de notation initialement établi par VINCENT et coll., (1951), comporte 6 catégories, ce

qui la rend lourde à utiliser dans un complexe expérimental, où le principal problème est l'échantillonnage. Nous avons opté pour un système plus simple à 3 classes distinguant les tiges (VEZ et GINDRAT, 1973) :

- I - les attaques faibles ou nulles
- II - " " moyennes
- III - " " fortes

La gravité de l'attaque est appréciée par observation de la section de tige.

Les comparaisons portent ensuite sur un indice d'attaque :

$$\frac{(\text{effectif I} \times 1) + (\text{effectif II} \times 2) + (\text{effectif III} \times 3)}{(\text{nombre total de tiges examinées} \times 3)} \times 100$$

Des notations de symptômes ont été effectuées en 1973 et 1974 dans les principaux essais de monocultures. A cette fin, des échantillons, comprenant une trentaine de plants de Blé, ont été prélevés au hasard dans les différents blocs des essais, selon les cas, entre le stade gonflement et la phase de formation des grains.

## 2 - Résultats

### a) Influence de la succession des cultures sur l'état sanitaire du Blé

Pour l'essai mettant en comparaison les phases successives d'une monoculture de Blé Cappelle ; les résultats des notations apparaissent dans les tableaux 28 et 29.

En 1973, le nombre d'individus infestés est en moyenne de 10,7 %. Compte-tenu du fait que le plus souvent une seule tige présente une lésion, il s'agit d'une attaque très faible, qui de plus, s'est développé tardivement. On ne distingue pas de différence significative entre les phases de la monoculture.

En 1974, le développement du piétin-verse dans les cultures a justifié le calcul de l'indice d'attaque, évoqué précédemment, pour apprécier la fréquence et la gravité des symptômes à la base des chaumes. En fonction du rang du Blé dans la monoculture, après Betterave fourragère, il apparaît que la gravité de l'attaque parasitaire (néanmoins modérée, comme le prouve le niveau de rendement en grain)

subit des variations significatives. Par rapport au Blé de Betterave, les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> Blés consécutifs sont davantage infestés, le 4<sup>ème</sup> est le plus sain, tandis que les derniers ont un état sanitaire analogue au premier. En ce qui concerne la fréquence des épis échaudés, on n'observe pas de différence significative entre les différentes phases. Ce critère est affecté d'une variabilité plus importante que celle de l'indice d'attaque (en raison vraisemblablement de la taille réduite des échantillons), avec lequel il n'est pas corrélé.

En dépit de sa variation au sein des cultures successives, l'indice d'attaque ne constitue pas une variable explicative satisfaisante de l'évolution du rendement en grain que l'on a pu observer (environ 10 q/ha entre le Blé de Betterave et le sixième Blé consécutif).

Cet essai comporte des parcelles élémentaires de 52,5 m<sup>2</sup>, et on peut y craindre des risques d'interférence. Au contraire, les résultats présentés dans le tableau 30 ont été obtenus dans trois soles contigues, entre lesquelles les effets de voisinage peuvent être considérés comme négligeables. Les variétés de Blés sont cultivées de façon rigoureusement identique dans les trois parcelles.

En 1973, on constate, malgré le faible développement parasitaire, une différence sensible entre le Blé suivant une culture de Pomme de terre et les Blés en monoculture. La variété Joss sensiblement plus résistante que Champlein à C. herpotrichoides présente un meilleur aspect sanitaire.

L'année suivante, en présence d'une attaque pourtant plus grave, cette tendance ne se manifeste que sur la variété Champlein; Cappelle, plus tolérante, n'a pas présenté des symptômes plus nombreux en monoculture qu'en second Blé.

Ces observations tendent donc à confirmer l'accroissement de l'inoculum de C. herpotrichoides sous la culture répétée du Blé, aboutissant probablement à l'obtention d'un niveau d'infestation maximum. En effet, après les premières années de monoculture l'état sanitaire des cultures ne paraît pas s'aggraver.

En plus de l'appréciation du développement de la maladie dans les diverses situations culturales, ces notations ont permis de rechercher, au sein du peuplement végétal, les effets des attaques de piétin.

b) Symptômes de piétin et structure du peuplement-épi.

L'étude des composantes du rendement a montré que le tallage-épi du Blé est sensiblement réduit en monoculture ; grâce à l'examen individuel des plants, il est possible de chercher dans quelle mesure le piétin est intervenu dans ce phénomène. Pour les deux années considérées (1972-73), les plants de Blé prélevés en monoculture ont été classés en fonction de la structure du peuplement-épi, en distinguant le nombre de tiges productives (donc normalement développées), et le nombre de tardillons. Dans chacune des classes ainsi constituées, les plants présentant des symptômes de piétin ont été dénombrés. Cette étude a porté sur des parcelles recevant une dose d'azote globale de 100 u/ha, et non traitées aux fongicides, dans les essais suivants

- la monoculture de Blé Cappelle implantée en 1967, qui est périodiquement interrompue par une culture de Betterave fourragère,
- et la monoculture datant de 1900, emblavée avec la variété Champlain.

Les résultats présentés dans les tableaux 31 et 32 ont été analysés statistiquement en comparant la répartition des plants infestés, d'une part, en fonction du nombre de tiges productives, et d'autre part, en fonction du nombre de tardillons.

Dans les différents tableaux de contingence ainsi constitués, la probabilité du Chi 2 est toujours supérieure à 5 %. Il apparaît donc, que la présence de lésions à la base des chaumes est indépendante de la structure du peuplement-épi. Au cours de ces deux années, dans les monocultures d'ancienneté variable, et emblavées avec des variétés ne présentant pas la même tolérance au parasite, l'étude des symptômes de piétin montre que la maladie n'a pas sensiblement influé sur le tallage-épi, ni même sur l'émission de talles tardives - ou bien qu'à l'inverse, le parasite ne s'est pas développé, préférentiellement, sur les plants les moins vigoureux. La présence du piétin en monoculture de Blé ne peut donc pas expliquer à elle seule la diminution du peuplement-épi observée lors de ces deux années.

3 - Conclusion

La complexité des réactions du Blé à l'infection parasitaire est telle, que, même dans des situations culturales reconnues comme devant favoriser l'extension, il est difficile d'estimer avec précision l'incidence que peut avoir une maladie comme le piétin-verse (ainsi que pour d'autres années et notamment en 1976, la fusariose de type piétin)

sur le rendement de la céréale. La méthode d'investigation utilisée, à savoir le dénombrement des symptômes, et la notation de leur gravité, résumés par un indice d'attaque, ne permet pas, à elle seule, d'estimer l'importance de la diminution de rendement due à la maladie. Les résultats de ces observations seront cependant complétés par l'étude de l'effet des fongicides. (cf. 2ème partie).

La taille de nos parcelles expérimentales, qui rend plausible la possibilité de contamination par voisinage, ne semble pas compromettre la validité des résultats; en effet, si l'état sanitaire des différentes cultures de Blé n'est pas toujours sensiblement modifié, les rendements, quant à eux, subissent des variations significatives. Nous sommes donc en mesure de conclure que le développement des maladies du pied, dans ces essais de monoculture, ne constitue pas à lui seul, la cause prépondérante de la réduction du rendement en grain.

#### F - Conclusion générale.

L'étude du comportement du Blé en culture continue, conduite dans des conditions expérimentales approchant le plus possible celles de la pratique, a permis de montrer, qu'en l'absence de précautions particulières, (à l'exception du désherbage), la réduction de rendement est en moyenne de l'ordre de 17 à 19 % par rapport à un Blé sur Betterave. A partir de la quatrième ou cinquième culture consécutive, le rendement en grain du Blé se stabilise ; ceci permet d'apprécier la véritable valeur de précédent du Blé, après que les effets résiduels des cultures antérieures se soient dissipés.

La phase de déclin du rendement lors des premières années de culture continue, compte-tenu de sa répétabilité, s'identifie dans nos conditions à l'affaiblissement progressif des effets résiduels de la Betterave. L'étude des composantes du rendement montre que les effets des précédents culturaux se manifestent sur le Blé vers la fin de la période végétative, et que les différences qui en résultent, portent principalement sur le peuplement-épi (variété Cappelle). Les variations des caractéristiques de l'épi découlent, le plus souvent, du degré de développement de l'appareil végétatif ou de phénomènes de compensation.

On a pu montrer que, dans nos conditions, les attaques parasitaires ne constituent pas la cause prédominante de la réduction du rendement du Blé en monoculture, ce qui corrobore, d'ailleurs, la répétabilité de ce phénomène.

Le fait qu'après quelques années de culture continue, le rendement du Blé se stabilise, montre que ses effets résiduels ne sont pas cumulatifs. En ce qui concerne l'additivité de ces effets, et leur interaction, il n'existe pas actuellement de références. Pourtant, il apparaît que l'arrangement des cultures, dans la séquence précédente, est susceptible d'en modifier l'arrière-action. A Grignon, on a pu constater que la valeur du Maïs comme précédent du Blé, diffère en fonction de la composition de la rotation. Le tableau 33 montre que, sur les moyennes de rendement de cinq années, l'arrière-action du Maïs-grain est plus favorable dans la rotation Maïs-Blé, par rapport à la rotation quadriennale incluant une Betterave. Ces résultats obtenus dans des rotations où l'ensemble des résidus de culture sont enfouis, ne s'expliquent pas par des différences d'état sanitaire, mais plutôt par des modifications de la minéralisation de l'azote organique. Cet exemple montre que la persistance des effets résiduels des cultures, leur permet, par des mécanismes qui restent à préciser, d'interagir.

Après avoir analysé les réactions du Blé aux précédents culturaux, dans le cas particulier de la monoculture, il est nécessaire de rechercher dans quelle mesure, les autres éléments du système de culture sont susceptibles de les modifier. Ceci doit permettre de préciser la hiérarchie des facteurs limitants du rendement, et l'adaptation de la conduite du Blé en monoculture.

**SECONDE PARTIE**

**POSSIBILITES D'AMENAGEMENT  
DU SYSTEME DE CULTURE**



\*  
\* \*  
\*

Dans cette seconde partie, nous nous proposons d'étudier l'incidence des différentes interventions culturales, qui sont susceptibles de modifier le comportement du Elé en culture continue. Ces interventions sont très diversifiées, aussi pour en clarifier l'analyse, nous les envisagerons, dans la mesure du possible, selon la chronologie de leur mise en oeuvre.

Trois chapitres seront distingués :

- L'influence des interventions culturales antérieures à l'implantation de la culture (coupures et travail du sol),
- Les différences entre les comportements variétaux,
- et l'influence des interventions portant directement sur la culture (date de semis, fertilisation azotée, traitements phytosanitaires).

\*  
\* \*  
\*

I - INFLUENCE DES INTERVENTIONS CULTURALES PRECEDANT LE SEMIS DU BLE.

A - Effets des coupures - Cas des cultures dérobées d'engrais verts.

1 - Généralités.

Dans de nombreuses régions agricoles, et en particulier dans les pays anglo-saxons, les cultures intercalaires d'une espèce différente (ou coupures), tiennent une place prépondérante au sein des successions céréalières intensives (JENKINS, 1965 ; COTTON, 1967 ; FELL, 1967 ; ROSWELL, 1967 ; DYKE et PREW, 1970 ; DENCH et al., 1972 ; SMUKALSKI, 1972). Compte-tenu de l'évolution des systèmes de culture, ces coupures constituent les "vestiges" des têtes de rotation, et à ce titre elles doivent en un minimum de temps (une seule campagne), induire des effets résiduels favorables pour les cultures suivantes. A la limite, la coupure peut être réalisée par une culture dérobée d'engrais vert, qui présente l'"intérêt" de ne pas diversifier le système de culture céréalière, en n'occupant le sol que pendant l'interculture.

L'efficacité des cultures intercalaires doit être considérée en fonction de leurs objectifs principaux qui sont : la restauration des propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, ayant pu être altérées par la répétition de céréales - et la réduction de l'inoculum des agents pathogènes. La persistance de leurs effets est évidemment importante, puisqu'elle détermine la périodicité de leur retour dans la succession céréalière.

2 - Influence des coupures sur la fertilité du sol.

Il n'existe pas d'éléments permettant de supposer que l'influence des coupures, sur la fertilité du sol, puisse être modifiée par des antécédents céréalières. GACHON (1973) a montré que l'effet d'un engrais vert dérobé peut interagir avec les rotations, mais en l'occurrence, l'action de l'engrais vert n'était que masquée par celle d'un précédent favorable.

Les résultats obtenus par PEQUIGNOT et RECAMIER (1961, 1965) montrent que la rupture d'une succession céréalière de longue durée, par une autre espèce, suffit pour obtenir un rendement normal sur le Blé

suisant, et ceci est confirmé par les expériences en cours à Grignon. La réaction des cultures suivant une coupure, lorsque le parasitisme ne constitue pas le facteur limitant, est particulièrement révélateur de l'évolution de la fertilité du sol en monoculture céréalière. Le fait qu'une culture intercalaire permette de restaurer le niveau de rendement du Blé, tend à montrer que cette évolution n'est pas considérable, et surtout qu'elle est réversible. Ceci permet d'évaluer l'importance relative des modifications physico-chimiques, ainsi que la stabilité de la microflore du sol. De ce point de vue, les conditions pédo-climatiques apparaissent déterminantes sur l'efficacité de la coupure (SMUKALSKI, 1972).

En ce qui concerne le cas des engrais verts en culture dérobée, ils sont incorporés au sol à un stade précoce de développement. Dans une monoculture de Blé d'hiver, ils sont semés fin août et enfouis en novembre; à cette époque leur appareil végétatif est peu développé et présente un faible degré de lignification. Quelle que soit l'espèce cultivée, leur influence (en l'absence d'enfouissement de paille) reste négligeable vis-à-vis du stock humique du sol (TROCME et GRAS, 1964). Par contre, la décomposition du végétal dans le sol stimule l'activité biologique et s'accompagne, transitoirement, d'une minéralisation de l'azote organique et d'un accroissement de la stabilité structurale (MONNIER, 1965 ; GRAFFIN, 1971).

Le rôle de protection des engrais verts, contre la dégradation mécanique de la couche superficielle du sol par les précipitations, et surtout l'économie d'azote qu'ils peuvent occasionner en utilisant les excédents d'azote minéral disponibles en automne, contribuent aussi à générer des effets résiduels. On conçoit alors que ces effets s'extériorisent avec plus ou moins d'intensité, en fonction des propriétés du milieu cultivé.

Les effets résiduels, dus respectivement au système racinaire de la culture, et à l'enfouissement des organes aériens, peuvent fournir des informations intéressantes sur les points faibles de l'agro-écosystème (DYKE, 1967).

### 3 - Influence des coupures sur le parasitisme.

Le parasitisme constitue dans la majorité des cas le problème prépondérant de la monoculture, aussi, le rôle attendu des coupures est-il d'en réduire l'incidence. De nombreuses études ont permis d'obtenir des références sur leur efficacité vis-à-vis des principaux parasites.

Les mécanismes d'action des cultures intercalaires sur les parasites des céréales, qui se transmettent par le sol, sont de deux ordres. D'une part, les coupures choisies parmi les plantes-non hôte du parasite lui imposent une survie saprophytique, et, en fonction de sa biologie, peuvent l'exposer à des antagonismes, et réduire ainsi son inoculum. D'autre part, l'enfouissement de matière végétale, en fonction de sa composition, est susceptible de provoquer la multiplication d'un groupe de micro-organismes favorisant l'assainissement du sol. Cette action peut être directe dans le cas d'un antagonisme, ou indirecte, si l'activité microbienne a accéléré le processus de dégradation des substrats permettant la conservation du parasite (ZOGG, 1969).

Compte-tenu de ces éléments, il n'est pas étonnant de constater une grande variabilité dans l'efficacité des coupures, d'autant plus que les conditions de milieu s'avèrent souvent prépondérantes vis-à-vis du développement des maladies.

Dans le cas de Cercospora herpotrichoides, trois années de cultures successives, avec des espèces non-hôtes peuvent s'avérer nécessaires pour améliorer l'état sanitaire du champ (STOREY, 1947), mais par ailleurs la réduction sensible du niveau d'infestation a été obtenue en deux ans, voire même en une année (GLYNNE, 1957 ; DEFOSSÉ et RIXHON, 1968 ; PEQUIGNOT et RECAMIER, 1961 ; VEZ, 1969). L'alternance des cultures peut s'avérer inefficace pour assurer un bon état sanitaire du Blé (LANGE DE LA CAMP et LEHMANN, 1969 ; VEZ et GINDRAT, 1973). En fonction de l'espèce végétale, les coupures présentent des efficacités différentes vis-à-vis du piétin-verse. L'Avoine qui, en général, n'est pas considérée comme une plante-hôte du parasite, malgré quelques observations contraires (DEFOSSÉ, 1966), a, dans de nombreux essais, permis d'assurer une coupure efficace dans des séquences culturales incluant du Blé et de l'Orge (AGERBERG et al., 1963 ; VEZ, 1966 ; PEQUIGNOT et RECAMIER, 1965). Les graminées fourragères ne semblent pas favoriser le développement de la maladie (BOCKMANN, 1962). La Pomme de terre, la Betterave, le Maïs (GLIEMEROTH et KUBLER, 1974) peuvent constituer des coupures valables, impliquant parfois d'être répétées, quoique des résultats contraires aient pu être obtenus (KUPERS, 1972). Ces cultures sont cependant moins efficaces que les prairies artificielles (LANGE DE LA CAMP, 1969). Les engrais verts en culture dérobée peuvent avoir une faible influence sur le développement ultérieur de la maladie, les résultats restent cependant variables en fonction du site et de l'espèce utilisée (DEBRUCK, 1965 ; SCHULZ, 1968 ; DIERCKS, 1972 et 1975).

En ce qui concerne Ophiobolus graminis, il apparaît que peu de cultures annuelles sont susceptibles d'être absolument défavorables à son développement ultérieur, et que son élimination implique l'abandon des cultures sensibles (PONCHET et COPPENET, 1962). Divers résultats montrent cependant, que des cultures d'Avoine, de Ray-grass et de Maïs peuvent atténuer l'incidence des attaques sur la plante sensible qui leur succède (VEZ, 1966 ; DEACON, 1973 ; GLIEMEROTH et KUBLER, 1974). Les engrais verts, en raison de la stimulation qu'il exercent sur l'activité biologique du sol, tendent à réduire la gravité des attaques de piétin-échaudage (LEMAIRE et JOUAN, 1969). ZOGG (1969, 1972) a montré que la culture dérobée de légumineuses provoque le développement des bactéries cellulolytiques, défavorables au parasite. L'efficacité des engrais verts reste cependant très variable selon les conditions de milieu (DIERCKS, 1975).

Fusarium culmorum, qui a la possibilité de survivre plus longtemps dans le sol par ses chlamydospores, est probablement moins influencé par les coupures, que les parasites précédents. CASSINI (1967, 1970) a observé des effets contradictoires à la suite de cultures de Betterave. Il semble qu'une modification plus profonde de la composition de la microflore, par exemple à la suite d'une culture de Luzerne, soit nécessaire pour en réduire l'inoculum (MANUCA, 1967).

Dans le cas du nématode phytophage Heterodera avenae, LANG (1975) a constaté qu'une culture d'engrais vert peut exercer des effets indirects sur l'état sanitaire de la plante-hôte suivante, en stimulant l'activité des champignons nuisibles pour le parasite.

L'ensemble des informations, dont on dispose actuellement, sur l'efficacité des coupures vis-à-vis des parasites, montre qu'il est nécessaire de recourir à des expérimentations systématiques implantées dans des conditions pédo-climatiques variées, afin de permettre d'analyser la variabilité des résultats. Les travaux en cours, portant sur les nématodes des céréales (RIVOAL, 1975), et sur le piétin-échaudage (LEMAIRE et al., 1975), accordent, dans le cadre des méthodes de lutte intégrée, une place importante aux coupures. En contre partie, certaines coupures peuvent favoriser d'autres dégâts parasitaires, comme par exemple, ceux de la mouche grise du Blé (Hylemyia coarctata), à la suite des cultures de Pomme de terre (RECAMIER, 1964).

#### 4 - Les cultures dérobées d'engrais verts dans les monocultures de Blé.

En l'absence de variétés possédant un niveau de résistance suffisant aux parasites pour exercer une véritable coupure sanitaire, l'interruption de la succession céréalière peut s'avérer nécessaire. Si l'infestation parasitaire n'atteint pas un seuil rédhibitoire, les engrais verts, en culture dérobée, sont à même de constituer des palliatifs, dont les implications et les incidences au sein d'une monoculture de Blé méritent d'être soulignées.

En raison de la faible durée de l'interculture, le choix doit s'orienter vers des espèces présentant une implantation et une croissance rapide ; de plus, le semis doit être réalisé le plus tôt possible après la récolte de céréale. Dans ces conditions, l'obtention d'un développement suffisant de la végétation reste cependant aléatoire, dans les régions où l'arrière saison est peu pluvieuse. La présence d'un engrais vert rend difficile l'application de méthodes de lutte (techniques culturales ou désherbage chimique) destinées à contrôler des adventices vivaces (Agropyrum repens, par exemple), souvent favorisées par la monoculture.

En dépit de leurs avantages, vis-à-vis de l'économie de l'azote et de la décomposition des pailles dans le sol, ces coupures présentent donc des contraintes, et sont d'une efficacité irrégulière. La plupart des résultats publiés à ce sujet font ressortir le caractère aléatoire de l'opération : selon DEBRUCK et RANGE (1969), VETTER et SCHONEICH (1969), EBERT et al. (1974), DIERCKS (1975), les effets d'un engrais vert sont faibles à nuls, et VEZ (1975) au cours de dix années d'expérimentation n'a constaté leur efficacité que par deux fois.

#### 5 - Etude de l'effet des cultures dérobées d'engrais verts en monoculture de Blé d'hiver, à la station de Grignon.

Depuis la campagne 1970-71, l'effet des engrais verts a été étudié chaque année dans une monoculture de Blé d'hiver implantée en 1965 (essai n° 8). Dans le dispositif expérimental, ce sont les mêmes parcelles qui reçoivent régulièrement la culture dérobée, ou qui servent de témoin. Par ailleurs, trois niveaux de fumure azotée (tableau 36) sont systématiquement affectés aux mêmes emplacements.

Différentes espèces de crucifères ont été utilisées dans l'essai :

- Radis Siletta (1970-1)
- Colza Brio (1972-3)
- Moutarde blanche (1971-2 ; 1973-4 ; 1974-5),

Pour des raisons qui ont été évoquées précédemment, les cultures dérobées sont difficiles à réussir entre deux cultures de Blé. Au cours des automnes de 1970, 1972, et 1974, le niveau de développement a été satisfaisant, avec une production de matière sèche des parties aériennes atteignant près de 2 t/ha ; par contre, les engrais verts des deux autres campagnes n'ont pas eu une végétation aussi "abondante".

Les pailles de Blé sont systématiquement récoltées - l'engrais vert, semé sans aucun travail du sol, au moyen d'un semoir triple-disque, est incorporé au sol par un labour normal.

Les résultats présentés dans le tableau 34 sont les rendements moyens calculés sur les trois niveaux de fumure azotée (on n'a jamais observé d'interaction "dose d'azote minéral x engrais vert") ; l'irrégularité de l'incidence de ces coupures sur le rendement du Blé suivant est manifeste. L'engrais vert n'a eu un effet significatif qu'en 1971 (+ 8 %), et 1972 (+ 14 %). Pour ces deux années le surcroît de rendement constaté, correspond à l'effet propre de la culture dérobée, puisque les deux séries de parcelles (témoin et engrais vert) avaient reçu une fumure azotée identique en automne). L'efficacité des engrais verts ne semble pas être simplement conditionnée par l'obtention d'une production suffisante de matière sèche, auquel cas les écarts de rendement auraient dû être importants en 1973 et 1975 et moindres en 1972. En 1973 et 1975, entre les deux variétés présentes alors dans l'essai, les rendements ne réagissent pas de façon différente à la coupure précédente.

A partir de 1972-73, l'application de traitements fongicides\* en végétation dans des sous-parcelles, a permis de chercher à estimer l'impact des champignons pathogènes, et principalement de C. herpotrichoides dans les différentes situations. La faible valorisation de ces traitements, même lorsqu'ils s'avèrent significativement efficaces (1974 et 1975 sur Champlein), permet de caractériser le bon état sanitaire du Blé dans cette monoculture. Dans ces conditions, l'éventuelle

\* Les modalités de traitement seront précisées dans l'"étude des fongicides".

influence de l'engrais vert sur les parasites peut difficilement s'extérioriser. Pourtant, pour chacune des trois années, le traitement fongicide tend à être légèrement plus efficace à la suite de la culture dérobée, ce qui se traduit, en moyenne, par un supplément de rendement de 7 %, contre 4 % dans les parcelles sans coupure.

L'étude des composantes du rendement permet de préciser le mode d'action de l'engrais vert sur la végétation du Blé (figure 19). Les augmentations de rendement (1971 et 1972) sont dues à l'obtention d'un peuplement-épi supérieur, et à la constance de la productivité de l'épi. L'action de l'engrais vert s'exerce donc surtout au cours du tallage, bien qu'à cette période, la culture ait reçu des quantités importantes d'azote minéral (entre 50 et 100 u/ha). L'influence de l'engrais vert sur le parasitisme, lors de ces deux années ne semble pas plausible, vu la rareté des symptômes dans l'essai.

En fin de végétation, l'effet résiduel de la culture dérobée sur l'alimentation azotée du Blé semble être négligeable, si l'on en juge par l'absence de différence, entre les teneurs en azote total du grain et de la paille (sur trois années 1972-73-74).

En 1973 et 1974, on n'observe pas d'interaction entre le fongicide et l'engrais vert au niveau des composantes du rendement. Pour ces deux années, le traitement améliore significativement la productivité de l'épi (par des voies différentes - en 1973 par la fertilité - et en 1974 par le poids de 1 000 grains), sans avoir sensiblement modifié le peuplement-épi. En dépit de la faiblesse de leur incidence, appréciée par l'intermédiaire de l'efficacité des fongicides, les attaques de piétin-verse semblent être susceptibles de se développer différemment, selon qu'il y ait eu ou non une culture dérobée d'engrais vert. En 1973 la coupure n'a pas d'effet significatif sur les rendements des variétés Champlain et Joss, bien que leur état sanitaire ait été bien différencié (tableau 35). Par contre, l'année suivante, l'indice d'attaque est supérieur dans les Blés précédés d'une culture de Moutarde, vérifiant ainsi que le piétin-verse peut être favorisé par l'enfouissement simultané des chaumes et d'une crucifère. Le double traitement fongicide contrôle très efficacement le développement du parasite, sans marquer de différence d'efficacité entre les deux cas.

## 6 - Conclusion

L'introduction de coupures dans la monoculture apparaît généralement assez peu fiable, surtout lorsqu'on cherche à en minimiser la durée. En fonction de l'espèce choisie et de ses modalités de culture, il est possible d'induire deux types d'effets résiduels : une action sur les conditions trophiques du sol, et une action sur le parasitisme. L'assurance d'une efficacité suffisante et régulière sur ces deux plans est difficile à obtenir à la suite des cultures dérobées d'engrais vert, en raison du faible niveau de développement qui les caractérise au moment de leur incorporation au sol, et de leurs conséquences variables sur les populations pathogènes. Il serait actuellement prématuré de proposer une stratégie valable, portant sur l'utilisation de ces coupures, dont l'effet favorable déjà irrégulier, risque d'être contrecarré par une influence encore imprévisible sur les parasites du sol, sauf peut-être en ce qui concerne le piétin-échaudage (LEMAIRE et al., 1975).

### B - Influence des restitutions organiques.

L'enfouissement des pailles dans les monocultures de Blé doit être considéré sous un double aspect :

- de l'entretien des réserves humiques du sol, et de ses conséquences sur l'alimentation azotée des cultures.
- et de son incidence sur la survie des parasites dans le sol.

En ce qui concerne le premier point, l'incorporation de ces résidus organiques à C/N élevé, dans le sol, provoquent, en plus des modifications de l'état structural, des réactions biologiques, pouvant aboutir à une immobilisation temporaire d'azote minéral (BARBIER et BOISCHOT, 1954; & SIMON, 1960) par les microorganismes, et à la libération de substances phénoliques susceptibles d'inhiber la croissance du Blé (VETTER et SCHONEICH, 1969). En l'absence d'interaction avec les parasites de la culture, le sort que l'on réserve aux pailles, donne lieu à des effets variés sur la culture suivante. Leur enfouissement peut occasionner un effet dépressif sur le rendement du Blé, observé en monoculture par certains auteurs (MOZSIK et SALLAI, 1968 ; POPOV et al. , 1968), mais ceci n'est pas général : KAMPF (1974) et LANG (1975) par exemple, n'ont pas constaté, dans leurs essais, d'effet résiduel sensible. La minéralisation de l'azote organique du sol, ainsi

que les modalités de la fumure azotée minérale, conditionnent le résultat de cette pratique ; l'enfouissement des pailles accompagné d'un apport d'azote minéral peut avoir un effet favorable sur le rendement de la culture suivante (ZVARA et LOPATNIK, 1966). On peut se demander si la répétition des apports de la paille n'entraîne pas à terme une augmentation des disponibilités en azote du sol et, par là-même, la disparition de leur effet dépressif (BARBIER et CHABANNES, 1961).

La culture d'un engrais vert combinée avec l'enfouissement de la paille, accélère la décomposition de cette dernière dans le sol, et en évitant l'immobilisation d'azote minéral, peut exercer un effet favorable sur le rendement du Blé, en monoculture ou en rotation céréalière (VETTER et SCHONEICH, 1969 ; DEBRUCK, 1970). Dans ce cas, les expériences ne permettent pas toujours de préciser l'influence respective des deux types d'apport organique et de leur interaction. Les résultats de LANG (1975), dans une rotation incluant jusqu'à 80 % de Blé, montrent que l'enfouissement de la paille n'entraîne pas de réduction de rendement par rapport à son brûlage, et que l'effet de l'association "engrais vert + paille enfouie" se limite pratiquement à celui de l'engrais vert (en deux sites différents).

L'irrégularité des conséquences de la fumure à la paille en culture continue de Blé, est parfois reliée au fait que celle-ci influe sur les populations pathogènes du sol. PAPAIVIZAS (1975) évoque les nombreuses recherches concernant les effets directs des résidus de culture sur les agents pathogènes du sol (notamment sur leurs activités saprophytiques, sur leur quantité d'inoculum, sur les équilibres biologiques et sur les substances stimulantes ou inhibitrices provenant de la décomposition des matières organiques). Cet auteur souligne l'importance du rôle que devraient jouer ces résidus organiques, dans les méthodes de contrôle des parasites. Dans leur analyse des modes d'influence des déchets de cultures sur les pathogènes du sol, HUBER et WATSON (1970) retiennent trois principaux éléments :

- l'augmentation du rôle de "tampon biologique" du sol,
- la réduction de l'inoculum des parasites, consécutive à la décomposition des substrats organiques,
- et les modifications de la forme de l'azote dans le sol.

Dans le cas de l'enfouissement des pailles, ce dernier mode d'action apparaît déterminant vis-à-vis de la fusariose. La réduction de la gravité des attaques, qui est constatée à la suite de cette pratique, découle de la réorganisation temporaire de l'azote minéral du sol, le développement du parasite étant en général favorisé par la présence d'azote nitrique dans le sol, particulièrement en automne (SCHROTH et HILDEBRAND, 1964 ; LEDINGHAM, 1970).

Quoique de nombreux facteurs puissent intervenir - comme la finesse du broyage des pailles avant leur enfouissement (HORNBY (1975) a montré que le pouvoir infectieux des fragments contaminés par Ophiobolus graminis est influencé par leur taille), et la répartition des résidus organiques dans le profil cultural - l'incorporation des pailles dans une monoculture a, en général, peu d'incidence sur l'état sanitaire du Blé, et n'est pas plus défavorable que leur récolte ou leur brûlage. VETTER et SCHONEICH (1969), DEBRUCK et RANGE (1969), VEZ et GINDRAT (1973) ont constaté, dans leurs essais, que cette pratique n'entraîne pas un développement accru des piétins sur le Blé. D'après LANG (1975), C. herpotrichoides, ainsi d'ailleurs que le nématode Heterodera avenae, sont peu influencés par le brûlage ou l'enfouissement des pailles. Le brûlage des pailles passe, au niveau de la pratique, pour un moyen de lutte contre les maladies : en ce qui concerne les piétins, il est permis d'en douter si l'on se réfère aux résultats d'AGERBERG (1967) et de SHIPTON (1972). Par contre JENSEN (1975) signale une légère diminution de l'incidence du piétin-verse à la suite du brûlage des pailles. Il semble important de remarquer que la majeure partie de l'inoculum de ces parasites se trouve sur les chaumes et sur les racines, qui de toute façon, sont enfouies.

#### Résultats expérimentaux

Dans la presque totalité des essais de monoculture poursuivis à Grignon, les pailles de Blé sont systématiquement récoltées, et il n'y est pas ménagé de terme de référence permettant d'apprécier les conséquences de cette pratique. Une expérience factorielle, implantée en 1973-74, incluant deux successions culturales (rotation Maïs-Blé et monoculture de Blé), une gamme de 6 variétés, le couple "témoin-fongicide", et deux destinations de la paille (enfouissement et récolte), nous a permis d'obtenir des informations synthétiques (essai n°4). Le tableau 36 récapitule les résultats obtenus sur trois des facteurs susceptibles d'interagir. Au cours des années 1975 et 1976 (cette dernière étant caractérisée par un déficit hydrique exceptionnel),

la succession culturale, l'utilisation de la paille, et le double traitement fongicide en végétation sont apparus indépendants (aucune interaction significative). La nature des résidus organiques enfouis (tiges de Maïs ou paille de Blé) n'influe pas de façon spécifique sur la végétation, sur son état sanitaire et sur son rendement ; de plus l'incorporation de ces matières organiques ne conduit pas à un quelconque effet dépressif sur la culture suivante. La faible efficacité du traitement fongicide met en évidence le bon état sanitaire du Blé, au cours de ces premières années de culture continue. S'agissant de l'alimentation azotée du Blé, il apparaît que les disponibilités du sol en azote minéral, lors de l'arrière-saison, sont suffisantes pour éviter une sub-carence momentanée de la culture, puisqu'aucun apport de cet élément n'est effectué lors de l'enfouissement des pailles.

En conclusion, les critères relatifs au choix de la destination des pailles en monoculture de Blé ne concerneraient pas tant les contraintes sanitaires, que les préoccupations liées à l'entretien des réserves organiques du sol. Des inconnues subsistent encore, par exemple, sur l'éventuelle accumulation due à la répétition des enfouissements de pailles, de substances toxiques ou d'inhibiteurs de croissance, issus de leur décomposition, qui risquerait, à terme, de provoquer des accidents sur la végétation. Il reste également à préciser les éventuelles interactions entre les produits de dégradation des résidus de la culture, dont certains peuvent avoir des propriétés antibiotiques ou fongistatiques, et les agents pathogènes du sol.

C - Influence du travail du sol sur le Blé en monoculture.

1 - Généralités.

Le travail du sol constitue une fonction prépondérante au sein du système de culture, d'une part en raison de son influence sur le comportement des plantes (la levée, le développement racinaire, les accidents culturaux qui peuvent résulter d'interactions avec les conditions climatiques), et d'autre part, parce qu'il peut conditionner certains effets résiduels des précédents culturaux.

On peut s'interroger sur l'intérêt de la simplification des techniques de travail du sol dans le cadre des monocultures de Blé ; il est certain que la spécialisation céréalière peut créer des contraintes dans l'organisation des travaux, mais à cet égard une telle succession offre, dans nos régions, davantage de possibilités d'étalement des interventions que, par exemple, la rotation Maïs-Blé.

Sur le plan expérimental, la diversification des modes d'implantation de la culture présente deux pôles d'intérêt :

- dans une certaine mesure, elle rend possible la dissociation des rôles respectifs de la plante et de ses façons culturales associées, qui se confondent dans les effets résiduels des cultures.

- le fait de combiner l'étude de plusieurs facteurs de production, et d'"exacerber" leur conséquences par le cumul de leur effets, permet d'en améliorer la connaissance (RECAMIER, 1975).

2 - Modes d'action du travail du sol en liaison avec les problèmes posés par la succession des cultures.

La mise au point de techniques simplifiées de travail du sol et du semis direct, a permis d'apprécier, par comparaison, les incidences du mode d'implantation traditionnel des cultures faisant intervenir le labour, ainsi que leur variabilité en fonction des conditions pédo-climatiques. Les conséquences du travail du sol, précisées à partir d'expériences pérennes, sont diversifiées ; certains de leurs effets interfèrent avec ceux des antécédents culturaux. Dans une étude synthétique, portant sur les essais de Grignon, FOURBET (1975) a montré comment les différents modes de travail du sol influent sur les caractéristiques physiques (température, humidité), et sur le système de porosité du sol. Ces caractéristiques régissent l'activité biologique, et le fonctionnement du système racinaire de la culture,

elles influencent, notamment, la minéralisation des matières organiques, le développement des racines, ainsi que la cessibilité de l'eau et des éléments minéraux. Le travail du sol, par son influence sur les conditions physiques du profil cultural, et par la répartition des résidus de culture en profondeur (dont dépend leur évolution), joue un rôle important sur la vie microbienne et sur la survie et le développement de l'inoculum des agent pathogènes (CASSINI, 1973). Par ailleurs, le rôle du labour vis-à-vis de la destruction de la flore adventice et de ses organes de multiplication n'est plus à démontrer. La réduction de la profondeur travaillée, et surtout le semis direct provoquent, à terme la prolifération d'espèces vivaces. Le non-retournement du sol peut aggraver des accidents culturaux dus à la rémanence des désherbants chimiques appliqués l'année précédente, en particulier à la suite d'un hiver peu pluvieux (HUET, 1975 b).

En ce qui concerne le comportement du Blé vis-à-vis des différents mode de travail du sol, il apparaît que, dans nos conditions pédo-climatiques, le Blé d'hiver s'accommode bien de la réduction du travail du sol et du non-labour. La durée de sa phase végétative, et les conditions d'humidité au cours de son enracinement, font que le développement de son système racinaire n'est pas sensiblement modifié par des variations de l'état structural du sol. Un comportement analogue est observé à Boigneville (Essonne) dans le champ d'essai de l'I.T.C.F. (FOURBET et RECAMIER, 1976), ainsi que dans d'autres contrées (Mc CRIMMON, 1969 ; VEZ, 1969). Le Blé de printemps, comme les autres céréales de printemps apparaît plus sensible aux conditions de milieu, et en particulier à la sécheresse, lorsque le travail du sol est réduit (RECAMIER, 1975).

Il paraît intéressant, ne serait-ce que pour caractériser le contexte agro-climatique, d'estimer l'influence respective sur le rendement du Blé, de la réduction du travail du sol, et de l'adaptation d'une succession uniquement céréalière. Ne disposant pas encore de résultats d'essais de travail du sol en monoculture de Blé, nous nous référerons, à titre indicatif, à ceux d'une expérience, à effets cumulatifs, portant sur deux rotations ( 1 : Betterave-Blé-Orge et 2 : Maïs-grain-Blé-Orge), où sont comparés deux modes de travail du sol (labour normal, ou travail au canadien), (HUET, 1975 b). Sur six récoltes, échelonnées entre 1959 et 1974 (variétés Cappelle et Champlain), on a pu estimer les diminutions relatives de rendement du Blé (moyennes et maximum) dues au non retournement du sol, et à la substitution du

Maïs à la Betterave (tableau 37). En moyenne, la valeur du précédent Betterave n'est que légèrement supérieure à celle du Maïs, et le non-retournement du sol affecte peu le rendement du Blé. Cependant, les écarts extrêmes ont été plus importants entre les modalités de travail du sol (à la suite d'une prolifération de Poa annua, en 1968, dans les parcelles non labourées portant précédemment un Maïs), qu'entre les précédents culturaux (du fait de la rémanence, en 1971, de l'atrazine appliquée sur le Maïs). Les conséquences des techniques simplifiées de travail du sol paraissent à même de révéler les facteurs de déséquilibre de l'agro-écosystème. Dans le cas du précédent Maïs, les effets résiduels du mode de désherbage, accentués par le non retournement du sol, jouent un rôle déterminant.

### 3 - Conséquences du mode de travail du sol en monoculture de Blé

Comme l'état sanitaire du Blé constitue un des principaux problèmes qui se posent en monoculture, et que l'un des effets bien connu du labour est de réduire l'inoculum pathogène (en le plaçant dans des conditions anaérobies qui lui sont défavorables), les techniques de travail minimum du sol et de semis direct, ont été a priori déconseillées en monoculture. En réalité, les conséquences de ces nouvelles techniques ne se sont pas révélées systématiquement néfastes ; au contraire, elles ont permis de mettre en évidence des aspects peu connus du comportement de certains agents pathogènes.

Dans les principales expériences portant sur le travail du sol en monoculture, la plupart des résultats tendent à montrer que la réduction du travail du sol n'a pas d'incidence anormale sur le rendement, et que souvent les rendements obtenus sont équivalents.

Les premières informations sur ce sujet remontent à une dizaine d'année, HOOD et al. (1964), JEATER (1966) ont observé que le semis direct de céréales n'avait pas sensiblement influencé le développement d'Ophiobolus graminis. Puis SCHWERDTLE et KOCH (1967), ainsi que BROOKS et DAWSON (1968) ont signalé que le semis sans travail du sol pouvait donner lieu à des attaques moins graves de Cercospora herpotrichoides (et d'O. graminis), que celles observées en sol labouré. Depuis, d'autres résultats analogues ont été obtenus : pour HOOD (1969), DEBRUCK (1969), STETTER (1971), HOSTRUP (1972), le mode de travail du sol n'a que peu d'influence sur l'incidence du piétin-verse. SCHWERDTLE (1971) observe même des rendements légèrement supérieurs en semis direct, par rapport au labour, en raison d'un meilleur état sanitaire du Blé. Ceci apparaît également

dans les essais de l'I.T.C.F. (CASSINI et al., 1976). La tendance générale, qui ressort de ces résultats, obtenus dans des conditions pédo-climatiques variées, est assez surprenante, face à la diversité des effets qu'ont les outils utilisés sur l'état structural du sol, et sur la répartition des résidus de récolte. En effet, cette tendance ne concerne pas uniquement le semis direct (qui est la modalité évoquée dans la plupart des références précédentes), mais également, la scarification au canadien (MAENHOUT, 1975), ou le travail à la fraise rotative (VEZ, 1976). Il existe cependant une variabilité interannuelle importante, au niveau de leurs conséquences sanitaires (CASSINI et al., 1976).

Ces résultats ne permettent pas de mettre en cause l'efficacité du labour vis-à-vis du contrôle des peuplements pathogènes en monoculture ; DIERCKX (1965) a montré qu'un labour profond, et l'enfouissement correct des chaumes, réduit sensiblement l'incidence du piétin-verse sur la culture suivante. Ces observations sont confirmées par celles de HOSTRUP (1972) et BEREMSKI (1974). En revanche, il apparaît que la qualité du labour (du point de vue de l'incorporation des résidus de récolte), et la régularité de sa profondeur, jouent un rôle déterminant, puisque d'une année sur l'autre, le retournement de la couche arable ramène en surface des fragments infectieux.

De nombreux mécanismes peuvent être évoqués pour expliquer les résultats expérimentaux cités précédemment. En ce qui concerne le piétin-verse, il se pourrait que sa moindre incidence dans les parcelles d'essais en semis direct, soit dû au retard de végétation fréquemment observé chez les céréales implantées selon cette technique (BROOKS et DAWSON, 1968, FOURBET, 1975). Selon YARHAM et HIRST (1975), l'avantage du semis direct, relatif à la réduction du piétin-verse, risque de disparaître dans les conditions de grande culture, puisque cette technique doit permettre un semis plus précoce qu'après un labour. Une autre hypothèse est avancée par ces auteurs, selon laquelle la survie du champignon serait plus brève à la surface du sol, qu'en profondeur (la sporulation, ayant pour effet d'entamer ses réserves). Enfin, la diminution de l'incidence de C. herpotrichoides, en semis direct, pourrait être liée à une moindre densité du peuplement végétal (VEZ, 1972).

Dans le cas du piétin-échaudage, YARHAM et HIRST (1975) ont analysé les causes pouvant modifier le développement de la maladie sur les céréales en semis direct :

- les graminées vivaces sont favorisées par le semis direct, infestées par le parasite, elles peuvent constituer une source d'inoculum (CUSSANS, 1975).

- la réduction du travail du sol s'accompagne d'une accumulation de débris végétaux à la surface du sol. HORNEY (1975) a étudié la répartition, et les variations saisonnières de cette source d'inoculum, sans pouvoir y relier les écarts de rendements, observés entre les modes de travail du sol.

- le semis direct provoque une modification de la morphologie et de la distribution des pores (FOURBET, 1975), et donc de l'aération de la couche superficielle du sol. Ceci peut influencer sur la mycoflore en fonction de son aptitude à vivre en anaérobiose (CASSINI, 1973). Les conditions physiques du sol peuvent ainsi modifier l'équilibre entre le pathogène et ses antagonistes.

- en semis direct le développement du système racinaire des céréales peut être réduit, ce qui tend à aggraver les conséquences de la maladie.

- selon PREW (1972), le travail du sol aurait pour effet de disséminer les germes d'O. graminis dans le sol.

Compte tenu des conséquences diverses de la réduction du travail du sol (ou du non-travail), qui, d'une situation culturale à l'autre, peuvent être plus ou moins marquées, les phytopathologistes n'ont pas encore la possibilité de proposer des modèles cohérents sur l'interaction entre les effets des techniques, et l'incidence de la maladie. D'après les résultats obtenus par LOCKHART et al. (1975) sur Orge de printemps, on peut se demander si le mode de travail du sol ne permettrait pas de modifier l'évolution du piétin-échaudage, au cours des premières années de culture continue.

En ce qui concerne les autres maladies du Blé, les résultats sont encore très fragmentaires, YARHAM et HIRST (1975) signalent que l'absence de labour peut accroître les risques de septoriose ; il semble en être de même pour la fusariose et pour l'helminthosporiose (CASSINI et al. 1976).

En monoculture, la date à laquelle est effectué le travail du sol peut avoir une incidence marquée sur le rendement ; LOCKE et MATTHEWS (1953), ainsi que KOLEV et VANCHEV (1967) préconisent un labour le plus tôt possible après la récolte. Si l'on considère l'évolution des débris susceptibles de transmettre l'infection d'O. graminis (HORNBY, 1975), il apparaît que cette pratique est de nature à réduire sensiblement l'inoculum, à l'époque du semis de la culture suivante.

S'il s'agit de provoquer précocement la décomposition des résidus de récolte, et de détruire les adventices, dangereuses par elles-mêmes, et capables de servir de support aux maladies (Agropyrum repens), le déchaumage apparaît comme étant une intervention nécessaire en monoculture (VEZ, 1972). Vis-à-vis des mauvaises herbes, l'intérêt du déchaumage est bien connu ; réalisé avec un outil à dents, il permet de lutter contre le chiendent. De plus, sa réalisation précoce peut rompre la dormance du rhizome, et exposer cette graminée à l'action des herbicides (ELLIOTT, 1972).

En ce qui concerne les maladies du Blé, le déchaumage n'a pas toujours une incidence marquée sur leur développement. LANGE DE LA CAMP (1966) a observé que, s'il est effectué immédiatement après la récolte de la céréale, il s'ensuit une réduction du piétin-verse. VEZ (1972) n'a obtenu une action sur la maladie, que par suite de l'élimination du chiendent. Par contre, SETTLER (1971) et HOSTRUP (1972) n'ont pas constaté un meilleur état sanitaire dans des monocultures d'Orge, à la suite de cette intervention.

D'une façon générale, la pratique du déchaumage et du labour - dont les effets, sur l'état structural du sol, et sur l'enfouissement des résidus de culture, dépendent des conditions de leur réalisation - n'entraîne pas une supériorité marquée des rendements en monoculture. Ceci montre les limites de l'efficacité du travail du sol, vis-à-vis de la réduction de l'inoculum des peuplements pathogènes, et la nécessité de considérer la qualité de ce travail. A la suite d'une culture fortement infestée, la fragmentation soignée des résidus de culture, leur enfouissement précoce et l'exécution d'un labour plus profond (qui peut être préjudiciable du point de vue du taux de matière organique du sol) constituent néanmoins la seule solution recommandable. En dépit des résultats, souvent corrects, obtenus à la suite d'un travail superficiel du sol, les nouvelles techniques sont, en

monoculture céréalière, difficilement compatibles avec une politique de restitution des pailles. De plus, leurs effets de sélection sur la flore adventice, risquent de renforcer ceux de la monoculture, au point de dépasser les possibilités de la lutte chimique.

## II - IMPORTANCE DU CHOIX DES CULTIVARS

### EN FONCTION DE LA SUCCESSION CULTURALE

#### A - Généralités

Dans les essais agronomiques, l'espèce-test n'est souvent représentée que par un seul cultivar. Pour les études portant sur les successions de culture, compte tenu des nombreuses interactions possibles entre le climat, le sol et les techniques culturales, les résultats risquent d'être étroitement conditionnés par les caractéristiques de la variété. Il faut cependant signaler que, dans ces essais pérennes, le maintien d'une variété-test unique est à terme problématique, ne serait-ce qu'en raison de sa "durée de vie", et de son incidence sur le plan de l'extrapolation.

#### Choix de la variété et système de culture.

Une certaine convergence entre la sélection variétale et l'évolution des systèmes de culture est indéniable, les conditions dans lesquelles sont conduits les programmes de sélection subissent la même évolution que celle de la grande culture. A partir de là, il est tentant d'envisager la sélection de variétés adaptées à un système de culture donné, et, dans le cas particulier, à un système céréaliier. Schématiquement, la céréaliculture intensive et, à la limite, la monoculture "monospécifique", du fait de la simplification poussée de la succession culturale, présentent des risques plus élevés de parasitisme, et d'infestation par les adventices. De plus, elles nécessitent une fertilisation azotée plus abondante. En raison des contraintes d'organisation des travaux, il s'ensuit fréquemment une simplification des techniques de préparation du sol. Les conséquences de l'adoption de tels systèmes de culture sont donc nombreuses et diverses, et elles sont étroitement conditionnées par le milieu cultivé. Il s'agit d'y apprécier l'importance respective des accidents climatiques et parasitaires, d'une part, et des diverses réductions de rendements et accidents imputables au système de céréaliculture, d'autre part.

Les travaux actuellement poursuivis par les laboratoires du C.R.A. de Rennes, sur la sélection du Blé au sein de monocultures, devraient permettre d'élaborer des cultivars adaptés aux systèmes céréaliiers intensifs. Les conditions pédo-climatiques de l'ouest de la France sont particulièrement favorables au parasitisme tellurique, et le succès de ces travaux passe nécessairement par l'introggression de gènes de

résistance aux différents agents pathogènes, et par leur association dans un même génotype. Une première étape semble être réalisée avec l'obtention d'une nouvelle variété résistante au piétin-verse (Roazon). La généralisation de cette méthode, actuellement exploratoire, implique cependant une connaissance approfondie de la variabilité des parasites, et la recherche de géniteurs de résistance aux autres agents (*O. graminis*, nématodes, ...).

*B - Problèmes posés par la monoculture*

*en matière de résistance aux parasites.*

L'augmentation du parasitisme constitue l'un des risques majeurs de la simplification extrême du système de culture. Celle-ci modifie l'environnement des agents pathogènes, et favorise l'accroissement de leur inoculum : directement par la répétition des cultures-hôte, et indirectement par l'élimination de microorganismes compétitifs ou antagonistes. Dans ces nouvelles conditions se pose le problème de la résistance de la culture aux parasites.

Parmi les agents pathogènes dont le développement est influencé par la succession des cultures, la plupart présentent un caractère saprophytique suffisamment marqué, pour assurer leur survivance en l'absence d'une plante-hôte. L'existence de cette phase saprophytique, ménagée obligatoirement entre les cultures de céréales, garantit la stabilité de la résistance de la variété, si elle est spécifique (ou verticale). A chaque interculture, la race virulente du parasite est soumise à une contre-sélection (VAN DER PLANK, 1974). En présence d'une forte résistance verticale, l'effet de la sélection stabilisatrice, dans un tel système "milieu saprophytique-hôte-pathogène", est tel, qu'il entraîne la suppression des races virulentes complémentaires dès leur apparition. L'aptitude des races virulentes à la survie, dépend donc de la force des gènes de résistance ; par ailleurs la réduction de l'interculture peut atténuer les effets de la sélection stabilisatrice.

Les connaissances actuelles en matière de relations génétiques "hôte-parasites", et de dynamique des systèmes parasites, permettent donc de penser que dans le cas de la culture continue du Blé, l'utilisation de gènes de résistance verticale soit suffisante pour enrayer le développement des agents pathogènes - qui ne sont pas des parasites stricts - et qui ne possèdent pas une faculté de dissémination impor-

tante. L'apparition de nouvelles races virulentes, pouvant être dues à l'emploi exclusif, ou trop fréquent, des gènes de résistance est possible, et, dans ce cas, l'épidémie se trouve plus ou moins retardée selon la vigueur des gènes (VAN DER PLANK, 1974).

Dans le cas des champignons transmis par le sol, GARRET (1950) a montré l'existence d'une correspondance générale entre un pouvoir saprophytique élevé et le manque d'adaptation à un hôte, et réciproquement. Parmi les agents pathogènes susceptibles d'être favorisé par la culture continue du Blé, tous ne présentent pas le même pouvoir saprophytique. La survie d'Ophiobolus graminis et Cercospora herpotrichoides semble se limiter à des périodes respectives avoisinant une année (SHIPTON, 1972) et trois années (MACER, 1961), tandis que Fusarium roseum peut subsister plus longtemps dans le sol, sans la présence d'hôtes (PARK, 1963).

Ces différences dans le pouvoir saprophytique des agents pathogènes sont probablement susceptibles d'influer sur la dynamique des relations entre le parasite, l'hôte et le milieu, mais pour ceux qui nous intéressent aucun exemple apparaît dans la bibliographie. En particulier, il serait important de savoir si les équilibres existant entre le parasite et le milieu saprophytique, tendent à stabiliser l'action pathogène du parasite, et s'ils jouent un rôle vis-à-vis de l'apparition de nouvelles races.

#### Les possibilités actuelles de la sélection

Avec les techniques culturales et les traitements chimiques, l'utilisation de la résistance génétique constitue un moyen de contrôle des parasites se transmettant par les résidus culturaux. Au sein des variétés de Blé tendre, la variabilité phénotypique était jusqu'à ces dernières années assez faible : la plupart des variétés présentaient entre elles des coefficients de consanguinité élevée, et les sources de résistance aux maladies cryptogamiques étaient peu diversifiées. Depuis l'inscription au catalogue de variétés étrangères a sensiblement modifié la situation.

Vis-à-vis du piétin-verse (C. herpotrichoides), la variété Cappelle présente le niveau de résistance le plus élevé parmi l'ensemble des cultivars, niveau qui s'avère toutefois insuffisant en cas d'attaque grave.

Les techniques modernes de sélection, avec le recours aux hybridations interspécifiques, et aux traitements mutagènes, ont permis d'accroître la variabilité génétique, et d'obtenir ainsi le plus haut niveau de résistance au piétin-verse connu chez le Blé tendre (DOUSSINAULT et al., 1974). Des sources de résistances autres que Aegylops ventricosa sont connues mais n'ont pas encore été exploitées : Secale cereale, Triticum aethiopicum (VANDAM, 1975).

Des travaux sont actuellement en cours pour rechercher des géniteurs de tolérance à Septoria nodorum (BRONNIMANN et FOSSATI, 1973); cependant le caractère semble être lié à la hauteur de la paille, ce qui du point de vue cultural constituerait évidemment un défaut (F. DOSBA et al., 1975). En ce qui concerne le piétin-échaudage (O. graminis), la majorité des variétés présentent une forte sensibilité, mais des chercheurs scandinaves (NILSSON, 1973 ; JENSEN et JORGENSEN, 1970) ont montré que certains cultivars présentent une tolérance intéressante. Par ailleurs Triticum monococcum possède un haut niveau de résistance (BUTLER, 1961).

Parallèlement à la recherche de nouvelles sources de résistance vis-à-vis de ces parasites, des études sont poursuivies sur les interactions souche-hôte, afin de connaître la variabilité de leur action pathogène (LANGE DE LA CAMP, 1966 ; SCOTT et al., 1975 ; NILSSON, 1969).

A la suite de cette revue bibliographique, il ressort que la sélection présente des potentialités intéressantes pour lutter contre les parasites qui sont favorisés par la monoculture céréalière. Les progrès envisageables, grâce aux résultats que pourront permettre les méthodes modernes de l'amélioration des plantes, avec notamment l'utilisation de sources de résistance situées hors des limites de variabilité du parasite, risquent de remettre en cause la nécessité de l'alternance des cultures, même dans les zones contaminées. On peut penser qu'aux coupures réalisées jusqu'à maintenant avec des espèces différentes, non-hôtes, on substituera la culture de variétés résistantes. Compte-tenu de la biologie des parasites, de véritables stratégies de lutte intégrée pourront être mises au point à partir de rotations variétales et de l'utilisation raisonnée des traitements fongicides.

Ces perspectives reposent sur la découverte de gènes de résistance suffisamment forts, vis-à-vis des différents parasites, mais également de leur transfert dans des variétés à haute productivité.

La marge de progrès que permet d'espérer cette voie de recherche est importante, en regard de la faible variabilité que présentent les variétés actuelles. C'est pourtant une gamme d'entre elles que nous avons testé dans diverses expériences de successions culturales.

C - Etude expérimentale du comportement de variétés de Blé tendre dans différentes successions culturales.

1 - Choix des variétés.

Différentes expériences mettant en comparaisons plusieurs variétés ont été réalisées depuis 1971, afin d'étudier le comportement de celles-ci dans des séquences culturales distinctes. Le choix a porté principalement sur des variétés de type hiver (inscrites au catalogue) parmi les mieux adaptées aux conditions régionales. Leurs principales caractéristiques culturales et leurs niveaux de résistance aux maladies cryptogamiques, résumées dans l'annexe V font apparaître une gamme de productivité, mais aussi de précocité, et de résistance aux parasites, susceptible de conditionner leur comportement dans les successions de cultures.

Dans ces expériences, le facteur variétal est utilisé comme révélateur des effets résiduels des précédents culturaux, d'une part, pour apprécier l'étendue de la variabilité inhérente au matériel végétal, et d'autre part, pour détecter la nature des éventuels effets résiduels.

2 - Variation du rendement des variétés en fonction des antécédents culturaux.

Dans une première expérience, dont les résultats ont été évoqués à l'occasion de la comparaison entre les variétés de type hiver et de type printemps (cf. tableau 9), on a pu tester le comportement de trois variétés: Champlein (hiver), Charles Péguy (alternatif -semis d'automne et de printemps) et Atys (printemps), sur la sole en monoculture de Blé depuis 1900 et sur une sole voisine, à la suite d'une monoculture de Pomme de terre (depuis 1962). L'absence d'interaction significative entre la variété et le précédent cultural montre que les cultivars n'ont pas réagi de façon différente dans les conditions de l'année (1970-71). Pour les deux variétés semées en automne (Champlein et Ch. Péguy), la réduction du rendement en monoculture est tout à fait analogue, et en accord avec la ressemblance de leurs caractères.

L'année suivante (1971-72), le comportement de huit variétés a été testé dans les deux mêmes situations culturales, sur des dispositifs en micro-parcelles (1). Compte tenu de la variabilité de l'expérience (C.V. = 11 %), l'interaction entre variété et sole n'est pas significative contrairement aux effets simples ( $P = 0,01$ ) (cf. tableau 38). Les variétés se classent, d'après leur niveau de rendement, de façon sensiblement identique, dans les deux situations culturales. Seule la variété Cappelle se distingue des autres, par son absence de réaction. Comme nous le verrons par la suite, la production de grain de ces différents cultivars ne traduit pas les différences de comportement qui se sont manifestées, en raison du jeu des compensations entre les composantes du rendement.

En 1974-75, les variétés Cappelle et Champlein ont été mises en comparaison dans deux dispositifs contigus, maintenus en monoculture de Blé, l'un depuis 1900, l'autre depuis 1965. Le niveau des rendements est identique entre les deux soles (tableau 39), puisque pour ces durées de monoculture il est stabilisé. La différence de rendement entre les variétés est significative, et comme le révèle l'efficacité du double traitement fongicide (exprimée en % du rendement du témoin (2)). Champlein a été plus affecté par les attaques parasitaires (principalement C. herpotrichoides) que Cappelle (différence significative à  $P = 0,05$ ). Cette variété, qui présentait moins de symptômes, n'a pratiquement pas réagi au traitement.

Ces quelques expériences ponctuelles ont été réalisées à partir de dispositifs préexistants, afin de chercher à élargir la portée de leur résultats et d'en intensifier l'exploitation. En raison de leurs caractéristiques, elles ne peuvent avoir qu'une valeur indicative ; elles permettent cependant de constater que, dans des conditions de milieu relativement peu sélectives (en particulier en présence d'infestations parasitaires moyennes), les variétés comparées ne réagissent pas de façon diversifiée aux effets des successions de cultures.

Depuis 1973-74, l'étude du comportement variétal en fonction de la séquence culturale a été entreprise dans un dispositif incluant une rotation Maïs-Blé, et une culture continue de Blé. Cette expérience, de type factoriel, intègre également des traitements complémentaires, concernant l'enfouissement des résidus de récolte, et

(1) essais en blocs complets, (3 blocs, parcelles de 3.00 x 0.85 m)  
(2) cf. l'étude des fongicides.

l'application de fongicides sur la végétation. Le tableau 40 récapitule les rendements obtenus, au cours de trois années (1974-75-76), en l'absence de protection sanitaire, dans le cas où les pailles de Blé et les tiges de Maïs sont systématiquement exportées.

Les variétés sont semées à une densité moyenne de 250 grains par m<sup>2</sup> et reçoivent une fumure azotée identique (75 u/ha au tallage et 75 u/ha à la montaison).

Les trois campagnes donnent lieu à des résultats diversifiés révélant la prédominance des conditions climatiques par rapport aux facteurs expérimentés.

En ce qui concerne l'influence des antécédents cultureux, elle ne se manifeste de façon significative qu'en 1974, avec un écart moyen d'environ 8 quintaux/ha entre les Blés de Maïs et les troisièmes Blés consécutifs. En 1975 et 1976, les Blés sur Blé atteignent des rendements identiques à ceux des Blés en rotation, les conditions générales de végétation n'ayant pas permis l'extériorisation des effets résiduels. Ceci paraît être relié à l'état sanitaire général de l'essai, puisque le double traitement fongicide a provoqué une augmentation de rendement de 17 % en 1974, contrairement aux deux années suivantes où il n'a pas été valorisé. En 1976, les effets de la sécheresse exceptionnelle ont complètement supprimé les différences entre rotations, de même que les différences variétales.

Sur cette période, l'année 1974 fournit des informations intéressantes sur le comportement variétal dans les deux situations culturelles. L'analyse statistique des résultats montre que les variétés testées réagissent différemment aux deux successions culturelles (ppds TUKEY pour l'interaction : 6.3 à P = 0,05). La réduction de rendement en monoculture affecte moins les variétés Cappelle, Talent et Atou que Champlein et Hardi, Top présentant une réaction intermédiaire. Il est cependant important de signaler que, si la précision de l'essai a permis de discerner ces différences de comportement, l'écart de rendement entre le Blé en rotation et le troisième Blé consécutif reste dans l'ensemble des cas relativement faible : la diminution de rendement varie de 10 % pour Talent à 17 % pour Champlein et Hardi. Le graphique 20 représente la relation entre la réduction de rendement des variétés entre la rotation et la monoculture et leur note de résistance au pié-

tin-verse (annexe V). Il tend à montrer que, pour la plupart des variétés, leur comportement en monoculture s'explique, dans les conditions de l'essai, par leur résistance au principal parasite présent. Seule la variété Talent est moins affectée que ne l'aurait laissé supposer sa sensibilité à C. herpotrichoides, mais grâce à sa précocité, l'attaque parasitaire (modérée), qui en 1974 s'est développée tardivement lui a été peu préjudiciable.

Les différences de comportement des cultivars en monoculture, dues à leur niveau de résistance génétique, restent cependant limitées, et dans le cas présent, auraient risqué de passer inaperçues en l'absence d'une référence expérimentale. En effet, les différences de productivité des variétés, et leur degré d'adaptation aux conditions locales, tendent à masquer la diminution de rendement due au parasitisme.

En conclusion, il convient de replacer différents résultats dans leur contexte : les campagnes considérées ont été relativement contrastées du point de vue climatique (cf. annexe I). Des éléments climatiques, qui sont susceptibles d'influer sur la végétation du Blé et sur les maladies, ont montré une certaine fluctuation (pluviométrie hivernale, nombre de jours de gel, température et précipitations printanières...). Si la variabilité interannuelle des rendements s'est révélée importante, avec une étendue de l'ordre de 20 quintaux/ha, la réaction des variétés à la succession culturale est restée relativement uniforme d'une récolte à l'autre.

En ce qui concerne les séquences culturales, leurs effets résiduels sont apparus peu différenciés, à l'exception de l'écart observé en 1974. Ceci s'explique par la date récente de leur implantation (la monoculture y comporte à cette époque des 2<sup>nd</sup> et 3<sup>ème</sup> Blés consécutifs), on a pu montrer précédemment, que l'"effet de monoculture" se manifeste avec la plus d'intensité, sur le rendement, à partir des 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> cultures de Blé .

Il serait évidemment nécessaire de disposer d'une série de résultats portant sur une période plus longue, pour estimer de façon plus précise la variabilité du comportement variétal en monoculture, et pour permettre une analyse fréquentielle des accidents, en relation avec les caractéristiques génétiques des variétés. Jusqu'à présent, on doit

conclure que, si les variétés peuvent réagir différemment aux antécédents cultureux (en raison surtout de leur niveau de résistance au piétin-verse), l'amplitude de variation, dans nos conditions expérimentales, reste assez faible (la réduction de rendement en Blé sur Blé par rapport au Blé de Maïs est comprise entre 10 et 17 % en 1974). Compte tenu de la faible variabilité génétique des variétés testées, et en particulier, de l'absence d'un gène de résistance suffisamment fort, vis-à-vis de C. herpotrichoides, il semble d'ailleurs peu probable d'observer des disparités nettement plus importantes.

### 3 - Comportement variétal en monoculture, et modifications de la structure du rendement.

Dans les expériences présentées précédemment, il est intéressant de chercher de quelle manière la structure du rendement des variétés testées peut être influencée par la monoculture, ceci afin de vérifier si, d'un cultivar à l'autre, les principales composantes du rendement réagissent uniformément.

L'étude des composantes du rendement, dans l'essai de comportement variétal réalisé conjointement en monoculture de Blé de longue durée, et à la suite d'une monoculture de Pomme de terre (campagne 1971-72), est à cet égard révélatrice. La structure du rendement, représentée par la relation liant le rendement, au peuplement-épi et à la productivité de l'épi, traduit des comportements variétaux différents (figure 21). Pour la plupart des variétés une réduction significative du tallage-épi constitue la principale modification de la plante en monoculture. Dans le cas de Ch. Péguy, en semis de printemps, et de Talent, les conséquences de la baisse de peuplement ont été en partie compensées par la fertilité des épis ; chez les autres variétés on n'observe qu'une tendance non significative. Les variétés Capitole et Joss ont réagi différemment aux antécédents cultureux : la diminution de rendement en monoculture est surtout due à la réduction significative du poids de 1000 grains, et donc de la productivité de l'épi. Le comportement particulier de ces deux variétés n'était pas accompagné de dissemblance notable dans l'état sanitaire du Blé, en particulier pour les parasites pouvant provoquer un échaudage du grain. En confrontant les réactions de la structure du rendement, et les caractéristiques variétales, aucune de ces dernières (en particulier la

précocité) permet d'expliquer l'affectation du poids de 1000 grains de Capitole et Joss en monoculture.

L'examen des composantes du rendement, dans l'essai comparant des variétés de Blé en rotation "Maïs-Blé" et en monoculture, montre qu'en 1973-74, certaines d'entre elles ont réagi différemment aux antécédents culturels.

D'après la figure 22, on constate que, pour les variétés Talent et Top, la réduction de rendement observée en culture de Blé sur Blé est due à un affaiblissement du tallage-épi. Pour les autres variétés, c'est la productivité, par l'intermédiaire du poids de 1000 grains, qui est affectée. En l'occurrence les deux variétés se comportant différemment, sont les plus précoces de la gamme testée, leur réaction, dans les conditions de l'année pourrait être la conséquence d'une évolution particulière des maladies du pied (des symptômes de F. culmorum et surtout de G. herpotrichoides ont été observés à la base des tiges). L'étude de l'incidence des traitements fongicides sur la structure du rendement, qui sera présentée ultérieurement, renforcent les présomptions sur l'origine parasitaire de la modification de la structure du rendement. En effet, l'application d'un double traitement fongicide en végétation sur les Blés sur Blé, permet non seulement de retrouver dans cet essai un niveau de rendement proche de celui des Blés de Maïs, mais de plus, pour la plupart des variétés, il tend à restaurer la structure du rendement (cf. l'étude des fongicides). En 1975, la structure du rendement des six variétés testées, n'a pas été significativement influencée par les précédents culturels (figure 23).

En conclusion, ces résultats montrent que la structure du rendement des variétés réagit différemment aux antécédents culturels. Cependant, la gamme des variétés expérimentées n'est pas suffisamment diversifiée pour permettre d'établir des relations de causalité, entre une combinaison de caractéristiques variétales et le comportement du cultivar. Les tendances qui ont pu être observées doivent être confirmées par une expérimentation plus longue. En dépit des dissemblances foncières de nos expériences, il apparaît que la variation affectant la configuration des composantes d'une année sur l'autre, est importante, et qu'elle peut être difficilement expliquée par de simples examens de la végétation. Ainsi, l'appréciation visuelle de l'import-

tance des maladies ne permet pas de caractériser, avec suffisamment de précision, le degré d'attaque des variétés, contrairement aux informations que procure la comparaison avec des cultures protégées par des fongicides.

#### 4 - Discussion et conclusions.

Dans des conditions culturales caractérisées par l'incidence irrégulière, mais toujours modérée des parasites, les résultats des différentes variétés testées, au cours de ces dernières années, se sont révélées homogènes. Compte tenu de la composition de la gamme de variétés, représentative pour la région, il apparaît qu'actuellement, le choix du matériel végétal, en fonction de la séquence culturale où il doit être introduit, ne constitue pas la condition primordiale de l'obtention de rendements élevés.

En matière de résistance aux parasites transmis par les résidus de culture, les variétés actuelles ne présentent pas une variabilité suffisante pour exercer des pressions différentes sur les populations parasites. En trouvant leur aboutissement, les travaux des phytopathologistes, des zoologistes et des spécialistes de l'amélioration des plantes, permettront d'assurer une meilleure efficacité de la lutte génétique. Le choix de la variété, en rotation céréalière, vise actuellement à limiter les dégâts parasitaires, il ne peut prétendre, pour autant que ce soit possible dans les conditions réelles de culture, avoir une incidence sensible sur le niveau des populations parasites présentant des formes saprophytiques. Ce problème des effets résiduels des variétés de Blé sur la flore pathogène des résidus de culture, et sur l'état sanitaire des céréales suivantes, est encore peu étudié. Il est pourtant à la base de l'élaboration d'une nouvelle stratégie dans les rotations céréalières, et en particulier pour la culture répétée du Blé.

Si pratiquement on choisit des variétés de Blé différentes, selon qu'elles doivent succéder à une espèce différente ou à une culture de Blé, il est encore prématuré d'envisager de véritables rotations variétales (HUET, 1975 a). Celles-ci impliqueraient que certaines variétés jouent un rôle de coupure, vis-à-vis d'un ou de plusieurs parasites, dont elles réduiraient l'inoculum.

Dans ces séquences culturales, la lutte chimique contre le piétin-verse, la fusariose et la septoriose, prédomine, de fait, sur la lutte génétique, et son utilisation systématique fait courir des risques d'adaptation ou de mutation des parasites. Pour constituer une véritable alternative, condition essentielle de la mise au point d'un système de lutte intégrée, la lutte génétique implique l'approfondissement des connaissances concernant la biologie des parasites, leur épidémiologie, les bases génétiques du pouvoir pathogène, d'une part, et de la résistance, d'autre part, mais également sur l'incidence des techniques culturales (CHEVAUGEON, 1973).

Comme le soulignent CASSINI et coll. (1975), l'objectif de la sélection doit être de trouver des génotypes capables de stabiliser la composition des populations pathogènes, en limitant le développement des races existantes et en évitant ou en freinant l'extension de nouvelles races.

Le pouvoir saprophytique des parasites favorisés par les rotations céréalières est probablement la principale justification de la mise au point de stratégies associant les différentes méthodes de lutte : génétique, chimique et culturale, c'est pourquoi, il est indispensable de généraliser, dans des conditions de milieu variées, l'étude du comportement variétal en fonction des méthodes de cultures.

### III - ADAPTATION DES INTERVENTIONS CULTURALES EN MONOCULTURE DE BLÉ.

=====

Les effets des antécédents culturels dépendent en partie de l'aménagement de la période d'interculture (déchaumage, traitement herbicide contre les graminées vivaces, culture dérobée d'engrais vert, restitution des pailles, travail du sol). Ces éventuelles interventions, qui contribuent à modifier les conditions initiales du sol, pour la culture suivante, ont, comme nous l'avons vu, des conséquences difficilement contrôlables sur la végétation. En revanche, connaissant la nature des effets résiduels de la monoculture, dans un site où elle s'avère possible, il est, dans certains cas, plus facile d'intervenir directement sur la culture, pour tenter de corriger les plus néfastes d'entre eux, et pour adapter le mode de conduite du Blé.

#### A - Date et densité de semis.

La culture de Blé libère le sol tôt en été, et, de ce fait, n'impose pas les mêmes contraintes de temps que d'autres précédents (Betterave et Maïs, par exemple). En plus des interventions culturelles, que nous avons évoqué précédemment, ceci permet de choisir l'époque de semis, de façon à assurer un développement correct de la céréale, en évitant toutefois de l'exposer à des effets résiduels néfastes.

Dans nos expériences, nous avons montré sur une variété alternative, que les semis d'hiver et de printemps ne modifient pas sensiblement la réponse du Blé aux effets résiduels des précédents (en présence d'attaques parasitaires de gravité moyenne). En revanche, on a vérifié que les rendements en grain diminuent régulièrement au fur et à mesure que l'on retarde la date de semis, par suite de la réduction du tallage-épi. A l'inverse, il est possible en Blé sur Blé de réaliser des semis précoces. VEZ, en Suisse, a réalisé de nombreux essais sur cette pratique, en cherchant à optimiser les principales interventions culturelles (densité de semis, fertilisation azotée, etc...). Ses résultats fournissent des informations originales sur l'adaptation de la conduite du Blé en monoculture, qu'il serait intéressant de tester dans des conditions de milieu différentes. Ce thème de recherche n'a pas encore été étudié, de façon suivie, dans notre complexe expérimental.

Le semis tardif du Blé, s'il entraîne une réduction du tallage, et par là-même, du peuplement en épis, s'accompagne d'une réduction

de la taille de l'appareil végétatif, ce qui limite les risques de verse (VEZ, 1971). Un apport azoté supplémentaire ne permet pas, en général, de compenser la diminution de rendement résultant du raccourcissement de la période de végétation, tandis que l'augmentation de la densité de semis, en présence d'une fumure suffisante, tend à réduire l'effet dépressif dû au semis tardif (VEZ, 1969). La date de semis influe sensiblement sur le degré de contamination de la culture par les champignons pathogènes : en augmentant la durée de l'interculture, on peut limiter les attaques de piétin et de rouille jaune (VEZ, 1968 et 1971), mais par contre, les risques d'attaques de septoriose sont plus fréquentes dans les cultures tardives (VEZ, 1974).

En ce qui concerne le choix de l'époque de semis, les conditions de milieu sont prépondérantes : il faut réaliser un compromis entre : - la potentialité de production supérieure, que permet un semis précoce (et une meilleure résistance au froid) - et la nécessité de limiter les risques d'infestation par les agents pathogènes. En présence du piétin-échaudage, le semis tardif doit être préféré, puisqu'on ne dispose pas de moyens de lutte contre cette maladie au cours de la végétation du Blé. Par contre, les expériences de VEZ (1976) ont montré que le semis à date normale peut donner lieu à de bons résultats, dans des zones contaminées par le piétin-verse, grâce à l'application de traitements fongicides. Un semis précoce, réalisé avec une densité plus faible pourrait, dans ces conditions, permettre d'améliorer le rendement des Blés sur Blé.

En ce qui concerne la densité de semis, on sait que, dans le cas du Blé, son influence sur le rendement est surtout marquée pour des niveaux extrêmes, en raison des compensations par le tallage-épi (BALDY, 1974a). VEZ (1969, 1971, 1974) a mis en évidence, que les possibilités de compensation dépendent de la fertilité du sol, de la variété et des caractéristiques culturales (période de semis, écartement des lignes, fumure azotée). La réaction de la culture est également conditionnée par son état sanitaire. Les faibles densités de semis tendent à aggraver les risques dus à des accidents de levée, et à un tallage insuffisant, mais en revanche, rendent la culture moins susceptible à la verse physiologique et au piétin (VEZ, 1969). Les densités plus fortes ne sont valorisées que dans les semis tardifs. VEZ (1976) citant HEUSSER (1954) et HEEGE (1970), suggère qu'un faible écartement entre les lignes de semis, et que les semis à la volée, pourraient provoquer de légères augmenta-

tions de rendement, dans certaines situations culturales.

Il apparaît donc, que les modalités de semis du Blé en monoculture peuvent sensiblement influencer sur le comportement et le rendement de la céréale, à condition d'adapter les mesures d'entretien de la culture (fertilisation et protection sanitaire). Ces informations ne ressortent pas de l'ensemble des essais de successions céréalières, où les semis sont, en général, réalisés de façon uniforme, quel que soit le précédent cultural. Ceci montre bien la nécessité d'étudier simultanément les principales interventions culturales susceptibles d'interagir.

### B - Fertilisation azotée du Blé en monoculture.

#### Eléments bibliographiques.

La nécessité d'accroître les apports d'azote minéral sur les Blés en culture continue est actuellement prouvée par de nombreuses expériences. En général, l'application de doses optimum permet de réduire sensiblement l'amplitude de la diminution du rendement en grain (DEBRUCK et RANGE, 1969 ; AUSTENSON et al., 1970 ; KOS, 1970 ; HUET, 1973 ; JELINEK, 1974 ; MUNDY et SELMAN, 1974 ; GROOTENHUIS, 1975 ; KUIPERS, 1975). En fonction des antécédents culturaux, la courbe de réponse du rendement, à la dose d'azote minéral apportée est modifiée, au moins, par un décalage de la dose optimum. Par conséquent, l'efficacité de l'engrais peut apparaître plus élevée en monoculture, qu'à la suite de précédents favorables (KOS, 1966 ; ANSORGE et al., 1967 ; EHROENPFORDT et RONSCH, 1973 ; SHONROK-FISCHER et SCHWABE, 1973). Ces résultats expérimentaux corroborent évidemment les connaissances relatives aux effet résiduels des céréales (résidus culturaux ayant un rapport C/N élevé, diminution éventuelle de l'activité biologique du sol).

Cependant, le renforcement de la fumure azotée s'avère, en général, insuffisant pour compenser intégralement l'absence des effets favorables de la rotation culturale (AGERBERG, 1967 ; COOKE, 1967 ; DEBRUCK, 1970 ; RIXHON, 1973 ; MUNDY et SELMAN, 1974). Les effet résiduels, induits en monoculture céréalière ne concernent pas uniquement les disponibilités en azote, même si la contribution de ce facteur est le plus souvent prédominante.

Les différences de rendements, qui subsistent entre les antécédents culturaux, sur des cultures de Blé recevant des fumures azotées optimum, sont surtout dues à des causes pathologiques, à la compétition par des adventices, et pour une part en général plus faible, et difficile à apprécier, aux modifications physico-chimiques et biologiques du sol.

Ces phénomènes influent sur la réponse du rendement du Blé aux apports d'azote minéral, en introduisant des facteurs limitants. Ils peuvent rendre la fumure inefficace en monoculture, à partir de doses inférieures à l'optimum présumé (PEQUIGNOT et RECAMIER, 1961 ; STRATULA et al., 1968).

Lorsque le parasitisme constitue le principal problème de la monoculture, les résultats sont parfois contradictoires, en raison d'interactions possibles entre le niveau de la fumure azotée, et le développement des attaques. De plus, dans le cas de la mycoflore pathogène, ces interactions peuvent porter sur des parasites qui ne sont pas directement influencés par la succession des cultures (Erysiphe Graminis). L'incidence de la fumure sur l'état sanitaire du Blé en monoculture a fait l'objet de nombreuses observations, notamment en ce qui concerne les piétins :

- diminution des attaques de C. herpotrichoides et d'O. graminis en présence de doses élevées d'azote (mais développement plus marqué d'Erysiphe graminis) (HIRST, 1973). Réduction de l'incidence d'O. graminis, grâce à un renforcement des apports azotés (SHIPTON, 1975 ; LOCKHART et al., 1975).

- absence d'interaction entre la fumure et les maladies (SHIPTON, 1972 ; JENSEN, 1973).

- aggravation des maladies (isolément ou simultanément) (GLIEMEROTH et KUBLER, 1973 ; POPE et JACKSON, 1973 ; VRKOC, 1974 ; VEZ, 1975).

La diversité des observations résulte probablement des nombreuses modalités d'action de l'azote minéral (dont les conditions d'apports peuvent être elles-mêmes variées) au niveau des éléments du "triangle de la maladie". Ceci peut être illustré dans le cas d'Ophiobolus graminis, en considérant les différentes possibilités d'action de l'azote minéral des engrais.

- incidence de la forme d'apport de l'azote : des réductions d'attaques ont été observées dans le cas où le rapport  $N-NH_4/N-NO_3$  est élevé (SMILEY et COOK, 1973), et à la suite d'application d'un sel ammoniacal,  $(NH_4)_2 SO_4$ , à l'automne (HUBER et al., 1968).

Des résultats contradictoires ont cependant été observés (HUBER, 1972)

- action de l'azote sur la résistance de l'hôte : selon HUBER et WATSON (1972), l'azote ammoniacal, contrairement à l'azote nitrique, augmente la résistance de la plante.

- action de l'azote sur le milieu, influant sur le développement du parasite par l'intermédiaire du pH de la rhizosphère (SMILEY et COOK, 1971 cités par CASSINI, 1973).

- influence sur les peuplements microbiens du sol (BROWN et al., 1973).

L'influence de la fumure est susceptible de s'exercer vis-à-vis d'autres champignons. En ce qui concerne les attaques de Fusarium, leur développement peut être favorisé par un apport d'azote au moment de l'enfouissement des pailles (SCHROTH et HILDEBRAND, 1964 ; LEDINGHAM, 1970).

Dans le cas des nématodes à kystes, les apports d'azote, au-delà d'un seuil critique, semblent permettre de diminuer l'inoculum, en réduisant la fécondité des femelles (JUHL, 1975).

L'ensemble de ces éléments bibliographiques laisse donc espérer qu'une connaissance approfondie de la biologie des parasites, et des facteurs régissant leur développement, permettra de raisonner l'application de la fumure azotée en vue d'atténuer leur incidence sur le rendement du Blé en monoculture.

#### Etude expérimentale de la fertilisation azotée.

1 - Préliminaires : Variabilité de l'action de la fumure azotée sur le Blé d'hiver, et effet résiduel de la fumure.

A partir des rendements obtenus dans un essai pluriannuel (n° 5) comportant différentes modalités d'apport d'azote minéral sur un Blé de Betterave\* (variété Cappelle de 1968 à 1970, et Champlain de 1971 à 1976), on peut caractériser l'efficacité de la fumure azotée, en fonction du fractionnement, et de la dose, en considérant que les différences variétales sont faibles, par rapport aux effets de l'azote et de l'année.

Les résultats moyens, récapitulés dans le tableau 41, montrent que l'incidence de la dose d'azote apportée en cours de végétation (entre 0 et 120 u/ha) est prédominante par rapport à celle du fractionnement. En effet, seul l'épandage de 120 unités avant le labour, donne lieu à une réduction significative du rendement par rapport à un entretien normal de la culture (traitement C), tandis que les différences entre les trois niveaux de fumure (A, B et C) sont hautement significatives. Quoique cet essai ne présente pas différents équilibres

\* sur ces parcelles, la fumure azotée de la Betterave est uniforme.

entre les doses appliquées en cours de végétation (à l'exception du traitement F), il est permis de penser que, dans nos conditions, le fractionnement unique ( $\frac{1}{2}$  au tallage +  $\frac{1}{2}$  à la montaison), adopté pour les autres essais, assure une alimentation azotée optimum de la culture.

Par ailleurs, il apparaît que la fumure azotée, surtout lorsqu'elle est apportée avant l'hiver (ce qui provoque généralement une baisse de productivité de l'épi, puisque l'alimentation azotée n'est pas soutenue en fin de végétation), tend à accroître la variabilité interannuelle estimée par le coefficient de variation. L'efficacité de la fumure minérale azotée varie évidemment d'une année sur l'autre (l'interaction "année-azote" est significative), la figure 24 montre qu'elle augmente de façon sensiblement régulière avec la pluviométrie hivernale dans l'intervalle allant de 128 à 220 mm. Ceci est en accord avec l'hypothèse d'un lessivage accru de l'azote au cours de cette période. Après les deux hivers les plus pluvieux (1967-68 et 1969-70), l'apport d'azote minéral est moins valorisé par le Blé, sans que d'autres éléments climatiques ou cultureux puissent en fournir une explication plausible. L'absence de résultats correspondant à des conditions intermédiaires ne permet pas de tester la validité d'une relation de type parabolique, entre l'efficacité de la fumure et la hauteur des précipitations de l'hiver. Il est cependant remarquable que l'efficacité de l'azote, vis-à-vis du rendement en grain, présente une variation sensiblement analogue, quelle que soit la modalité d'apport de l'engrais (avant le labour, ou bien, fractionné en cours de végétation). Enfin, l'allure des courbes de réponse du rendement aux doses croissantes d'azote n'est pas directement influencée par la pluviométrie de l'hiver, ce qui apparaît sur la figure, par la comparaison de l'efficacité relative des doses 60 et 120 u/ha, fractionnées sur la végétation. Cette brève étude, relative à un Blé en rotation permet donc de caractériser le milieu expérimental vis-à-vis de l'action des apports d'azote minéral effectués au cours de la campagne, en montrant l'incidence prédominante de la pluviométrie hivernale dans la variabilité interannuelle.

Les résultats obtenus dans le même essai, sur des parcelles où le précédent Betterave reçoit différents fractionnements et doses de fumure azotée, et où, au contraire, la fumure du Blé est uniforme (100 u/ha), montrent que l'effet résiduel des apports d'azote minéral est négligeable dans ce type de sol. Après une dizaine d'années d'expérimentation,

le carencement en azote des parcelles cultivées, une année sur deux, ou l'application d'une fumure normale, ne fait pas apparaître d'effets cumulatifs. La faiblesse des écarts entre les rendements moyens des différents traitements (tableau 42) est de ce point de vue révélatrice.

En conclusion, on peut penser que l'affectation systématique des différents niveaux de la fumure azotée aux mêmes parcelles, dans les essais de monoculture, dont il va être fait état, n'a pas modifié sensiblement leur fertilité. Dans ces conditions l'efficacité de la fumure azotée peut y être estimée indépendamment d'une année sur l'autre.

## 2 - Incidence d'une augmentation de la dose d'azote minéral sur le comportement du Blé, au cours des premières années de culture continue.

### a) Fumure azotée et rendement du Blé d'hiver Cappelle.

Dans le dispositif permettant de comparer les six premières cultures consécutives de Blé Cappelle, à la suite d'une culture de Betterave fourragère (essai n° 1), les parcelles ont été subdivisées à partir de la campagne 1971-72. L'une des sous-parcelles reçoit une fumure azotée de 100 u/ha, et l'autre, 150 u/ha ; dans les deux cas le fractionnement est le même : 50 % au tallage et 50 % à la montaison. Précédemment, il n'avait été fait que des parcelles recevant la dose 100.

Le tableau 43 récapitule les rendements obtenus dans les différentes phases de la monoculture, pour la dose 150 d'azote - ainsi que le surcroît de rendement, dû aux 50 unités supplémentaires, exprimé en pour cent du résultat de la dose 100.

Si l'efficacité du supplément d'azote varie d'une année sur l'autre, avec des coefficients d'efficacité allant de 5,8 (en 1972) à 12,8 kg de grain/kg d'N (en 1975), par contre, la réponse du rendement à l'azote, en fonction du rang de la culture, ne varie pas sensiblement au cours de cette période (l'interaction "azote-rang de la culture-année n'est pas significative). L'étude des résultats, année par année, met en évidence une interaction significative entre l'azote et le rang de la culture en 1973. Néanmoins, en considérant l'efficacité relative de l'azote (entre parenthèses), il apparaît, en 1974 et 1975, que l'apport supplémentaire tend à être mieux valorisé en Blé sur Blé, que sur le Blé de Betterave. Ceci est d'ailleurs confirmé par l'analyse statistique globale. On remarque que la réaction des rendements à l'azote reste sensiblement constante à partir du 2<sup>ème</sup> Blé, ce qui tend à mon-

trer qu'aucun facteur limitant important se manifeste dans l'intervalle. Le fait d'accroître les disponibilités en azote du Blé réduit de façon incontestable l'amplitude du déclin de son rendement en monoculture. L'écart maximum de 19 % observé en 1974 pour la dose 100, n'est que de 13 % pour la dose supérieure (en moyenne sur 4 ans : dose 100 = 13 % - dose 150 = 9 %).

Il s'ensuit qu'avec l'apport supplémentaire d'azote, on obtient en deuxième, et parfois même, en quatrième Blé consécutif, un rendement équivalent à celui du Blé de Betterave, avec la dose 100. Cette expérience permet d'estimer, de façon indirecte, la quantité d'azote libérée à la suite de l'enfouissement des résidus organiques de la Betterave : soit en moyenne, de 50 unités/ha sur le premier Blé suivant, puisque l'écart de rendement, observé entre les première et seconde cultures, peut être pratiquement supprimé, en augmentant la fumure du Blé sur Blé de cette quantité d'azote minéral (HUET, 1975 a). Ceci confirme les résultats obtenus par CROHAIN et RIXHON (1967) à Gembloux.

Ce mode d'estimation reste cependant approximatif puisqu'il suppose que le seul facteur intervenant dans l'effet résiduel de la Betterave soit l'azote, et que les courbes de réponse à l'azote dans le cas des différentes cultures de Blé soient identiques, à une translation près, ce qui n'est probablement pas exact.

Il est évident que deux niveaux d'azote ne permettent pas d'approcher, régulièrement, les doses optimum des différentes phases de la succession. Mis à part l'année 1974, la dose optimum du Blé de Betterave est au moins supérieure à 100 u/ha ; et a fortiori dans le cas des Blés sur Blé. Ainsi, on risque de sous-estimer les possibilités de correction du rendement en monoculture, le choix d'une dose supérieure à 150 u/ha aurait sans doute permis de confirmer cette hypothèse.

b) Influence de la fumure azotée sur les composantes du rendement.

L'apport supplémentaire d'azote minéral, fractionné entre le tallage et la montaison, exerce une influence relativement reproductible sur les composantes du rendement du Blé Cappelle, en dépit de la variation des conditions annuelles.

Il se traduit, en général, plus par l'accroissement de la productivité en grain de chaque individu, plutôt que par la diminution de la mortalité de ceux-ci (fig. 25 a). (L'année 1972, caractérisée par un hiver pluvieux, constitue, à cet égard, une exception).

La figure 25 b met en évidence que la dose supérieure d'azote favorise le peuplement-épi (en augmentant significativement le tallage-épi), au détriment de la productivité en grain de l'épi qui tend à diminuer. Cet effet compensateur est cependant limité (non significatif en 1973-74 et 75), et, à l'exception de 1972, n'anéantit pas l'incidence du peuplement-épi sur le rendement en grain. La compensation qu'exerce la productivité de l'épi vis-à-vis du peuplement se produit au cours de la phase d'accumulation des réserves dans les grains (fig. 25 c), le nombre de grains par épi n'étant pas sensiblement accru par le supplément d'azote (sauf en 1974).

Pour l'ensemble de ces quatre années, l'action des 50 unités d'azote supplémentaire se manifeste surtout sur les composantes de peuplement (épils et grains), dans la mesure où la dose 100 ne lui permet pas d'atteindre un niveau optimum. L'augmentation de ces composantes s'accompagne alors d'une réduction du poids de 1000 grains, pouvant être due - soit à une alimentation azotée insuffisante, pendant la formation des grains - soit aux facteurs climatiques (l'échaudage physiologique ou parasitaire étant mis hors de cause).

Après avoir précisé les limites de la variabilité interannuelle, affectant le mode d'action du supplément d'azote, il est possible de dégager les différences d'efficacité de la fumure, entre le Blé de Betterave et les Blés en monoculture (4e, 5e et 6e Blés consécutifs) qui sont à l'origine de l'interaction "dose d'azote-rang de la culture". (L'interaction "dose d'azote-rang de la culture-année" n'est pas significative sur chacune des composantes du rendement prise isolément).

En moyenne, sur les quatre années d'étude, le supplément de la fumure azotée provoque un accroissement des composantes de peuplement (individus, épils et grains par  $m^2$ ) qui est supérieur dans le cas du Blé de Betterave, par rapport aux Blés en monoculture. Comme nous le verrons par la suite, ce phénomène ne semble pas s'expliquer par un état sanitaire différent des cultures. On peut se demander si le fractionnement de l'apport supplémentaire ( $\frac{1}{2}$  au tallage,  $\frac{1}{2}$  à la montaison) ne mériterait pas d'être modifié, dans le cas des Blés sur Blé, en accroissant la fraction appliquée au tallage, puisque l'hypothèse de l'existence d'un facteur limitant au sein du milieu cultivé ne semble pas étayée par les observations, ou les analyses.

La meilleure efficacité de l'azote sur les composantes de peuplement, dans le cas du Blé de Betterave, s'accompagne, en contre partie, d'une compensation plus importante par les composantes de l'épi, et surtout par le poids de 1000 grains. Ceci explique la réduction significative des écarts de rendement, entre les Blés en monoculture et le premier Blé.

c) Influence de la fumure azotée sur la structure du rendement.

L'étude des corrélations, entre les composantes de la variété Cappelle, montre que la dose supplémentaire de 50 unités d'azote modifie sensiblement la structure du rendement, mais de façon différente selon la position de la culture dans la séquence (figure 26). Dans le cas du Blé de Betterave, la plupart des relations restent inchangées, à l'exception du tallage-épi, qui sous la dose 150 ne joue plus de rôle compensateur vis-à-vis du nombre d'individus. La réduction de leur mortalité, consécutive à une augmentation des disponibilités en azote, atténue donc l'intensité de ce phénomène de régulation du peuplement. Les modifications sont plus profondes dans les Blés sur Blé, puisqu'elles affectent, non seulement les composantes de peuplement, mais aussi leurs relations avec les caractéristiques de l'épi. Dans les Blés en monoculture, l'apport supplémentaire d'azote a une influence peu marquée sur le nombre d'individus survivants, (fig. 25 a), mais, par contre, il rend possible une compensation par le tallage-épi (fig. 26 b et c : apparition d'une corrélation négative significative entre le tallage et le nombre d'individus): L'obtention d'une densité de peuplement en épis, supérieure, se traduit par une moindre dépendance des caractéristiques de l'épi vis-à-vis des composantes de peuplement. Tout se passe comme si la dose supplémentaire d'azote lève un facteur limitant du peuplement, et supprime, par contre-coup, la compensation exercée, en particulier, lors de l'accumulation des réserves dans le grain (poids de 1000 grains).

La comparaison des résultats des régressions multiples progressives obtenus pour les deux niveaux d'azote confirme la modification de la structure du rendement. Pour la dose 100, le rendement en grain n'est, en général, étroitement corrélé qu'aux composantes de peuplement (individus, épis, et grains) (tableau 44), tandis que l'apport supplémentaire de 50 unités tend à accroître la contribution de la

productivité de l'épi vis-à-vis de la production de grain, par l'intermédiaire du poids de 1000 grains. En augmentant les niveaux des composantes de peuplement, on les a sensiblement rapprochées de leur valeur optimum.

On remarque toutefois, que, pour la dose supérieure d'azote, la corrélation entre le peuplement et le rendement, tend à rester significative dans les Blés sur Blé, contrairement au cas du Blé de Betterave : la densité de la végétation y constituerait donc encore le premier facteur limitant.

d) Influence de la fumure azotée sur le rapport "grain sur paille".

L'étude des résultats moyens, obtenus sur deux années (1974 et 1975) montre que la dose supplémentaire d'azote entraîne une augmentation significative du poids des organes végétatifs aériens du Blé (tiges et feuilles). Cette croissance pondérale de l'appareil végétatif reste cependant proportionnelle à l'accroissement du rendement en grain, et le rapport "grain sur paille n'est pas modifié dans l'intervalle de variation de la fumure azotée (tableau 45). L'analyse statistique de ce critère ne met pas en évidence d'interaction significative entre l'azote et le rang de la culture. Ceci s'explique par le fractionnement convenable de la fumure, mais aussi par l'absence de facteur limitant, indépendant des conditions trophiques du milieu, qui exercerait un effet sur la productivité des épis.

e) Influence de la fumure azotée sur l'état sanitaire du Blé.

Dans cet essai (n° 1) mettant en comparaison les phases successives d'une monoculture de Blé, l'incidence du niveau de la fumure azotée sur les symptômes de Cercospora herpotrichoides a été étudiée pendant deux années : en 1973 (attaque légère et tardive) et en 1974 (attaque de gravité moyenne, d'après les symptômes, et l'efficacité du double traitement fongicide).

La comparaison des fréquences des individus présentant des lésions à la base des tiges (en 1973 - tableau 46), des indices d'attaque, et du pourcentage d'épis échaudés (en 1974 - tableau 47) montre que l'apport d'un supplément d'azote minéral, n'a pas sensiblement influé sur le développement du piétin-verse, et cela, quel que soit le rang de la culture (l'interaction "azote-rang de la culture n'est pas significative").

3 - Incidence de la fumure azotée sur le comportement du Blé en monocultures de longue durée.

a.) Fumure azotée et rendement du Blé d'hiver Champlein.

L'influence de la fumure azotée en monoculture de longue durée est étudiée dans deux dispositifs contigus, situés au fond du val, et cultivés sans interruption en Blé, depuis 1965 et 1900 (essais n° 7 et 8). Les deux essais sont conduits de façon rigoureusement identique. Ils mettent en comparaison, les effets de trois doses d'azote (100-150-200 u/ha) apportées pour moitié au tallage, et pour moitié à la montaison (des parcelles témoin ne recevant pas d'azote sont ménagées en bordure du dispositif n° 8).

Au cours de la période 1973-74-75, l'azote minéral, apporté pendant la végétation, n'a pratiquement pas eu d'effet sur le rendement du Blé Champlein, au-delà de la dose 100 u/ha (tableau 48). L'apparition régulière, d'une année sur l'autre, d'un palier sur la courbe de réponse, peut en général, traduire l'existence d'un facteur limitant. En l'occurrence, il se manifeste toujours en deçà de la dose optimum "théorique", que justifieraient la variété et les antécédents culturaux. L'apport de 200 unités d'azote, qui, dans ces conditions, s'est révélé excessif, n'a jamais provoqué de verse notable. On constate que l'ancienneté de la monoculture ne modifie pas significativement la réponse du rendement à l'azote, et que, de plus, les rendements moyens des deux soles sont identiques. Si ce dernier point confirme le phénomène de stabilisation des rendements en monoculture, la faible efficacité de l'azote au-dessus de la dose 100, paraît être en contradiction avec les résultats obtenus sur le plateau, avec la variété Cappelle (essai n° 1).

Il est possible de confronter les relations "dose d'azote-rendement en grain", avec celles établies dans un essai portant sur la variété Champlein en rotation (Maïs-Blé-Betterave-Blé). Dans les soles en monoculture de longue durée, l'efficacité de 120 unités d'azote par hectare (estimée par interpolation) est sensiblement plus faible que celle observée sur le Blé de Betterave, mais elle lui reste proportionnelle au cours des trois années d'étude (fig. 27).

Compte tenu de la proportionnalité des effets de l'azote, la dissemblance des courbes de réponse (fig. 28), ne semble pas devoir s'expliquer par les seules attaques parasitaires (d'ailleurs de gravité

moyenne, au cours de cette période, qui auraient eu pour effet d'accentuer la variabilité interannuelle du phénomène. La situation particulière des soles en monoculture - au fond du val, sur un sol colloïdal - est probablement à l'origine de cette réaction différente à la fumure azotée.

b) Action de l'azote minéral sur les composantes du rendement de la variété Champlein.

L'examen des relations entre les composantes du rendement (fig. 29) montre, qu'en moyenne sur les trois années, l'azote minéral influe favorablement sur les composantes de peuplement (individus, épis, grains), entraînant une augmentation significative du nombre d'épi/m<sup>2</sup>, entre les doses 100 et 200. Le palier observé sur la courbe de réponse à l'azote, à partir de 100 u/ha est dû à la compensation exercée par le poids de 1000 grains, vis-à-vis des peuplements en épis et en grains. Ceci corrobore les résultats relatifs aux effets de ce mode de fractionnement de la fumure azotée, sur la variété Cappelle : l'augmentation de la dose globale favorise le développement de la surface foliaire au cours de la croissance active du Blé, et se traduit par un accroissement de l'indice foliaire intégré sur la période "épiaison-maturité". Cependant, l'efficacité du feuillage utile après l'anthèse, tend à diminuer pour les apports élevés d'azote, ce qui provoque une réduction du rapport entre le rendement en grain, et l'indice foliaire. Le tableau 49 mentionne des résultats relatifs à la variété Champlein en monoculture de longue durée (essai n° 7), l'indice foliaire après l'anthèse y est estimé par la masse de matière sèche et l'entre-noeud supérieur et de la feuille culinaire. Les différences de précocité, consécutives à l'effet de la fumure azotée, sont en général faibles. Elles tendent à allonger la période de formation des grains, dans le cas de la dose 200, et donc à accroître les potentialités photosynthétiques de la culture. Pourtant, le développement plus important de l'appareil assimilateur s'accompagne d'une réduction de la fertilité de l'épi, et de la croissance des caryopses.

La réduction de l'efficacité du feuillage utile après l'anthèse, résultant de l'augmentation de la fumure azotée, n'est pas élucidée. On retrouve ce phénomène dans la plupart des essais, sans que les diverses interventions culturales parviennent à l'éviter. Ceci rejoint le problème de la mise en évidence des facteurs régissant l'optimum

de l'indice foliaire vis-à-vis du rendement en grain, qu'ont évoqué THORNE et BLACKLOCK (1971).

c) Incidence de la dose d'azote sur l'état sanitaire du Blé en monoculture de longue durée.

Des prélèvements d'échantillons, effectués en 1973 et 1974, après la floraison, ont permis d'estimer le degré de développement du piétin-verse, à la base des tiges, par l'indice d'attaque (tableau 50). Ces résultats montrent que l'état sanitaire de la culture reste comparable, entre les deux soles ayant porté, respectivement, 8 ou 9, et 74 ou 75 Blés consécutifs. D'après la fréquence et la gravité des symptômes, le niveau de l'apport azoté n'a pas sensiblement influé sur le développement de la maladie, en 1973. En revanche, l'année 1974 est caractérisée par une attaque plus marquée, quoique moyenne, dans le cas de la dose 150 (différence significative à  $P = 0.10$ ), les doses inférieures ou supérieures donnant lieu à un état sanitaire analogue. Cette interaction entre les disponibilités en azote de la culture, et le développement de la maladie, aurait pu contribuer à expliquer la faible valorisation de l'azote dans l'intervalle (100-200 u/ha), mais elle n'est pas observée en 1973, et de plus, les effets des traitements fongicides ne la confirment pas.

d) Conclusion.

Les différences existant entre les soles où sont implantées les expériences de monoculture, et le fait que celles-ci portent sur des variétés distinctes, rendent évidemment difficile une interprétation générale de l'efficacité de la fertilisation azotée, en fonction de la durée de la monoculture. Au vu de ces résultats, une question reste sans réponse : celle portant sur une éventuelle réduction de l'efficacité de l'azote, dans les monocultures de longue durée, par suite d'une baisse de l'activité biologique du sol.

En ce qui concerne l'effet de l'azote minéral au cours des six premières années de culture continue, il se traduit, en l'absence de traitements fongicides, par une modification de la courbe de réponse, pouvant être caractérisée par un accroissement de la dose optimum, d'au moins 50 unités/ha. Il en résulte un relèvement sensible, et irrégulier, du niveau des rendements, à partir du deuxième Blé consécutif, ce qui

tend à réduire l'amplitude moyenne de la diminution de rendement, de 13 % pour la dose 100, à 9 % pour la dose 150 u/ha.

Les conditions de milieu, relatives aux monocultures de longue durée, font que la réponse du rendement en grain à la fumure azotée, est pratiquement nulle à partir de 100 unités d'azote par hectare. Ceci semble devoir être imputé au type de sol, en raison de la régularité du phénomène, d'une année sur l'autre.

### C - Lutte chimique contre les maladies fongiques du Blé.

#### Eléments bibliographiques

La désinfection des semences par voie chimique, qui est désormais généralisée, a marqué un net progrès dans la protection des semis contre les attaques d'origine parasitaire, de par ses effets préventifs et curatifs (VENTURA, 1969 et 1975 ; ANSELME, 1975).

La mise au point des traitements fongicides, en applications foliaires, permet d'envisager une méthode de lutte chimique, qui soit véritablement complémentaire des méthodes culturales (rotations, travail du sol, etc...), et de la lutte génétique. Les fongicides systémiques, dont l'utilisation sur les céréales remonte à quelques années (LESTER, 1969), permettent, en association avec des fongicides de contact, de lutter contre la plupart des maladies des céréales. LEROUX (1973, 1975) en a présenté les principales caractéristiques et leur modalités d'action.

Les traitements, à base d'associations "manèbe + méthylthiophanate" ou "manèbe + bénomyl", ont une action curative et préventive. Appliqués au début de la montaison (stades 6 à 8 de LARGE), de tels traitements sont efficaces vis-à-vis de Cercospora herpotrichoides et de la fusariose du pied. Ils peuvent agir ultérieurement sur Septoria nodorum (RAPILLY et al., 1975). Un traitement effectué à la floraison (stade 10-5-1) contrôle les maladies du feuillage et de l'épi (septoriose, fusariose, rouilles et oïdium). Par contre, ce mode de lutte est sans action contre Ophiobolus graminis. Le fongicide systémique ne migre pas des organes aériens vers les racines (PETERSON et EDINGTON, 1970).

Les traitements fongicides en végétation ont, depuis 1970, fait l'objet de nombreuses expériences. D'ores et déjà, on dispose d'informations considérables concernant l'incidence des modalités des traitements, et de leur interaction avec les conditions de milieu, et les caractéristiques culturales (précédents, fertilisation, variétés,...) (journées d'études I.T.C.F., 1973 et 1975).

Dans les monocultures de Blé, ainsi que dans les rotations céréalières, la lutte chimique donne, en général, des résultats intéressants, en raison de son action sur les maladies du pied (piétin-verse et fusariose) (GLIEMEROTH et KUBLER, 1973 et 1974 ; HUET, 1973, 1975a et 1976 ; DIERCKX, 1975 ; VEZ et GINDRAT, 1976). Les tendances ressortant des expérimentations montrent que l'efficacité du traitement fongicide dépend en grande partie des conditions climatiques de l'année, et de la nature du sol. Ces conditions de milieu sont souvent prépondérantes par rapport à l'incidence de la succession des cultures.

#### Etude expérimentale

Dans nos expériences, l'application de traitements fongicides vise à apprécier, indirectement, les dégâts dus aux maladies cryptogamiques favorisées par la monoculture du Blé. A propos de cette approche différents points doivent être soulignés :

- la comparaison, entre les parcelles témoin (non traitées) et les parcelles traitées aux fongicides, donne une estimation des dégâts réels dans les conditions de l'année, des parasites sensibles à la matière active, et non pas des dégâts potentiels que pourraient entraîner le niveau d'inoculum des parcelles. Il y a donc possibilité d'interaction entre les années et l'efficacité des traitements (HUET, 1973 et 1975 a).

- l'imprécision sur cette estimation est due au spectre d'efficacité des matières actives, qui recouvre également des champignons non concernés par le thème expérimental : Elle peut également provenir des modalités d'application des traitements, susceptibles d'influer sur leur efficacité (stade, conditions météorologiques etc...). Par ailleurs, il ne semble pas exclus que certaines matières actives puissent avoir une incidence sur le rendement en grain de la céréale, en l'absence d'attaque notable des parasites (KUPERS, 1973, loc. cit.).

- au plan de la pratique expérimentale, il ne faut pas négliger les effets de voisinage entre les parcelles témoins et traitées (JAMES, 1975).

En ce qui concerne le protocole adopté, les parcelles traitées reçoivent un double traitement fongicide (début montaison et floraison), composé des matières actives suivantes :

- . méthylthiophanate (750 g/ha) + manèbe (2 000 g/ha)
- . bénomyl (300 g/ha) + manèbe (2 000 g/ha).

Le traitement au stade floraison, dont le rôle peut paraître accessoire, constitue, en fait, une garantie contre les maladies du feuillage. Puisque celles-ci peuvent être favorisées par l'effet protecteur du premier traitement. Il en résulte néanmoins une certaine incertitude sur l'estimation des dégâts dus aux maladies transmises par les résidus culturaux, ou par le sol ; une pondération peut être réalisée à partir des observations de symptômes.

#### 1 - Incidence des traitements fongicides sur le comportement du Blé au cours des premières années de culture continue

##### a) Action sur le rendement en grain

Au cours des années 1973-74-75, un double traitement fongicide a été appliqué dans l'essai présentant les six premières phases d'une monoculture de Blé Cappelle (essai n°1). L'efficacité des fongicides, qui est affectée d'une variabilité interannuelle importante, est en accord avec la gravité des symptômes de Cercospora herpotrichoides. L'analyse statistique des résultats, dont les moyennes sont récapitulées dans le tableau 51, ne met jamais en évidence d'interaction significative entre le traitement fongicide, et le rang du Blé en monoculture.

- malgré des symptômes marqués de piétin-verse et de fusariose type piétin, avec le blanchiment précoce d'épis, mais n'allant pas jusqu'à la verse du Blé, la gravité des attaques n'était pas suffisante, même lors des campagnes 1974 et 1975, pour révéler des différences dans les niveaux d'inoculum des cultures de Blé successives. En effet, la valorisation du double traitement fongicide, dans cet essai, est du même ordre de grandeur que celles obtenues, en moyenne, dans le réseau de l'I.T.C.F. sur des Blés en rotation (LINAIS et LÉSCAR, 1973 ; LÉSCAR, 1975 ; RAPILLY et al., 1975), où le surcroît de rendement varie d'en-

viron 6 % pour un Blé de Betterave, à 18 % pour un Blé suivant une Orge.

- comme nous le soulignons initialement, la taille réduite des parcelles qu'il a fallu accepter, implique des risques importants de contamination par voisinage dans le cas des champignons tels que C. herpotrichoides et S. nodorum. En l'occurrence, les parcelles témoin et traitées correspondent à des sous-blocs du dispositif (630 m<sup>2</sup>), les interférences y sont donc peu probables. Entre les parcelles élémentaires recevant les différentes phases de la monoculture, il n'y a pas eu de contamination sensible, comme le confirme l'étude des rendements.

- le degré de résistance de Cappelle au piétin-verse, explique également ces résultats, ce qui sera confirmé par les comparaisons variétales.

Après trois années d'expérimentation, on constate une légère augmentation de l'efficacité des traitements, à partir du quatrième Blé consécutif, ce qui tend à réduire l'écart entre les rendements des premier et sixième Blés, de 18 à 14 %. Ces résultats s'expliquent par le fait que les attaques de piétin-verse (et des champignons du feuillage) furent, somme toute, modérées au cours de cette période ; mais ils tendent, de plus, à confirmer qu'une seule année de coupure par la Betterave ne réduit pas considérablement le taux d'inoculum du parasite.

b) Effet du double traitement fongicide sur la végétation.

L'état sanitaire du Blé est très nettement amélioré dans les parcelles traitées aux fongicides. Ceci apparaît au niveau des notations et des dénombrements des individus infestés par C. herpotrichoides (tableaux 52 et 53). L'efficacité des traitements se manifeste chaque année par une réduction significative des lésions dues au piétin-verse, réduction plus accentuée que l'augmentation de rendement qui en découle. Elle permet également de contrôler les maladies du feuillage (principalement Erysiphe graminis). L'analyse statistique portant sur les notations de symptômes, ne met pas en évidence une efficacité différente des fongicides en fonction du rang de la culture, ce qui confirme les résultats relatifs au rendement en grain.

L'application de fongicides se manifeste surtout sur l'aspect de la végétation, en retardant la sénescence des feuilles ; par contre, elle n'influe pas sensiblement sur le développement des plantes. Les mesures effectuées au cours des années 1974 et 1975 sur le poids de l'appareil végétatif aérien à la récolte, montrent que l'action des traitements porte essentiellement sur le fonctionnement des organes photosynthétiques, et non pas sur leur croissance (tableau 54). Le poids de paille par unité de surface est identique dans les parcelles témoin et traitées, mais le rapport "grain-paille" est significativement augmenté à la suite du double traitement.

c) Action sur les composantes du rendement.

L'application du double traitement fongicide en végétation, a des effets variés sur les composantes du rendement en grain, en fonction de la gravité des attaques parasitaires. Au cours des années 1974-1975, caractérisées par un développement notable du piétin-verse, les fongicides provoquent une augmentation hautement significative du poids de 1 000 grains, et ils permettent un accroissement sensible du peuplement en grains par unité de surface (figure 30). En 1973, les composantes du rendement n'ont pas été sensiblement modifiées par le traitement.

N'ayant pas mis en évidence d'interaction entre les fongicides et le rang de la culture, vis-à-vis des rendements parcellaires, il était peu probable d'en détecter au niveau des composantes du rendement, sauf en présence de compensations importantes. Cependant, en considérant, d'une part, les valeurs moyennes des composantes (sur les 3 années) du Blé de Betterave, et d'autre part, celles des Blés en monoculture (4e, 5e et 6e Blés consécutifs), on retrouve l'origine des tendances apparaissant sur les rendements.

Les fongicides n'ont pas d'effets sur l'évolution du peuplement en individus. Ceci correspond au fait que la mortalité se produise surtout avant le premier traitement (stades 6 à 8), et que par la suite, elle ne soit pas d'origine sanitaire. Dans les Blés en monoculture, l'action des traitements s'exerce de façon significative sur le poids de grain par individu (figure 30 a); elle apparaît moins marquée sur le Blé de Betterave.

Le tallage est, d'une façon générale, peu modifié dans le cas de la variété Cappelle ; la différence entre les rangs de la culture s'explique en grande partie par l'efficacité des fongicides sur la productivité de l'épi (figure 30 b).

La figure 30 c met en évidence l'efficacité supérieure des fongicides sur le rendement des Blés en monoculture, qui s'explique surtout par une augmentation du poids de 1000 grains, mais aussi par celle de la fertilité de l'épi.

L'effet du double traitement fongicide, sur les corrélations entre les composantes du rendement, n'est pas aussi marqué que celui de la fumure azotée. Ceci est probablement dû à l'influence prédominante du facteur "année". En considérant les composantes complémentaires, que sont le peuplement en grains par  $m^2$  et le poids de 1000 grains, on constate cependant, que l'application de fongicides modifie leur contribution respective au rendement en grain (tableau 55). Les résultats des régressions multiples progressives montrent, qu'en l'absence de protection sanitaire, le rendement n'est fonction linéaire que du peuplement en grain. Dans les parcelles traitées, cette liaison subsiste, mais le poids de 1000 grains devient la première variable explicative du rendement. Le contrôle des maladies fongiques permet donc d'éliminer un facteur limitant du rendement, au niveau de l'accumulation des réserves dans les grains, sans doute en assurant une meilleure alimentation hydrique, ce qui se traduit par une augmentation de leur poids moyen. Par comparaison avec l'action de la fumure azotée, le peuplement en grain par  $m^2$ , qui n'est que légèrement accru, reste en deçà de son niveau optimum, et influe linéairement sur le rendement.

#### Remarque.

Sur le Blé de printemps, les maladies de type "piétin" ne présentent pas le même caractère de gravité que pour les variétés d'hiver, c'est ainsi que dans le cas de la variété César, la valorisation du double traitement fongicide est nettement plus faible au cours des trois années (1973-4-5). L'augmentation de rendement y est surtout due au contrôle des maladies du feuillage et de l'épi : E. graminis et P. striiformis, ce qui entraîne l'accroissement sensible du poids de 1000 grains (tableau 56).

## 2 - Effets des traitements fongicides en monocultures de longue durée.

Le double traitement fongicide a été appliqué dans des parcelles appartenant aux monocultures établies en 1900 et en 1965. Compte tenu de la proximité de ces deux essais (n° 7 et 8), et du fait qu'il sont conduits de façon rigoureusement identique, il est possible de comparer l'efficacité des fongicides sur la variété Champlein, pour la dose d'azote de 150 u/ha.

En moyenne sur les trois années 1973-4-5, l'application des fongicides procure un gain de rendement sensiblement plus élevé dans la monoculture datant de 1900, alors que le niveau de production en grain, en l'absence de protection sanitaire, n'est pas influencé par l'ancienneté de la culture continue (tableau 57). L'examen des résultats annuels, montre qu'en 1974 et 1975 les rendements, et l'efficacité des fongicides, sont analogues dans les deux soles. Par contre, en 1973, le traitement n'est fortement valorisé que dans la monoculture la plus ancienne. Il est difficile d'expliquer ce phénomène, surtout que les indices d'attaque du principal champignon observé sur la végétation (C. herpotrichoides) étaient identiques, et relativement faibles (cf. tableau 30). Dans la sole en monoculture depuis 1900, l'utilisation de fongicides avait déjà donné lieu, en 1972, à un surcroît de rendement important, disproportionné par rapport à l'estimation visuelle de la gravité des symptômes. La présence de taches de graminées adventices (Agropyrum repens, et Avena fatua) a pu influencer sur le niveau d'inoculum du parasite, et sur sa dissémination. La concordance des résultats obtenue en 1974 et 1975, après que cette flore adventice ait été contrôlée, semble accrédi- ter cette hypothèse. Par ailleurs, le fait que les parcelles traitées soient de taille réduite ( $25.4 \text{ m}^2$ ), peut favoriser les contaminations par voisinage, et conduire ainsi à fausser l'estimation de l'effet des traitements.

Sur un plan plus général, il apparaît que la nature du sol joue un rôle important sur le développement du piétin-verse, et, par là-même, sur l'efficacité des traitements. Au cours de la période de trois ans, l'efficacité moyenne des fongicides, appliqués sur la variété Champlein (sensible au piétin-verse), cultivée sur le sol colluvial assez argileux, est sensiblement plus faible (4 % dans l'essai n° 8 - tableau 57), que celle observée dans le cas de la variété Cappelle (relativement résistante), cultivée sur le limon de plateau.

### 3 - Traitements fongicides et comportement variétal.

L'étude de la réaction variétale aux traitements fongicides constitue un thème de recherche particulièrement intéressant pour la mise au point de méthodes de lutte intégrée dans les rotations céréalières. En utilisant de façon complémentaire les moyens de lutte génétique et chimique, il s'agit de maintenir les peuplements de parasites au-dessous de leur seuil de nuisibilité. Une combinaison correcte de ces deux modes de lutte, auxquelles il conviendra d'adjoindre les interventions d'ordre biologique et cultural, doit permettre de contrôler l'état sanitaire des cultures, tout en préservant l'efficacité de ces méthodes. Le risque, en la matière, tient aux conséquences d'une lutte chimique exclusive, ou à l'emploi généralisé de quelques rares gènes de résistance. Les réactions variétales aux traitements fongicides ont déjà fait l'objet de nombreuses expériences, notamment au sein du réseau national de l'I.T.C.F. (LINAIS et LESCAR, 1973 ; LINAIS, 1975 ; LESCAR et al., 1975).

A Grignon, l'étude de ces interactions est poursuivie, depuis 1974, dans plusieurs dispositifs comportant des Blés sur Blé.

L'examen du tableau 58, dans lequel sont récapitulés l'ensemble des résultats relatifs à six (ou huit) variétés de Blé d'hiver, montre l'importance de la variabilité interannuelle affectant l'efficacité du double traitement fongicide.

En 1975, les écarts entre les rendements des deux essais sont dus au nombre des cultures de Blé précédentes, et pour une faible part, difficile à apprécier, à l'emplacement des deux dispositifs (tous deux sur le plateau).

En 1976, le faible niveau des rendements s'explique par la sécheresse exceptionnelle de la campagne ; celle-ci a également eu pour effet de modifier sensiblement l'incidence des différents agents pathogènes. Contrairement aux autres années, les lésions de la base des tiges sont plus souvent dues à Fusarium roseum (64 % des cas), qu'à Cercospora herpotrichoides (30 % des cas). D'autres champignons, dont Septoria nodorum, sont à l'origine de 6 % des symptômes\*. La fréquence des épis échaudés a fait l'objet d'une étude particulière (tableau 59) mettant en évidence l'importance du facteur variétal. Les cultivars présentant les symptômes les plus fréquents (le taux moyen reste cependant faible) sont Talent et Hardi, au contraire Atou, Top et Cappelle ont le meil-

\* Ces déterminations ont été réalisées par le Laboratoire de Phytopathologie de l'INA P.G.

leur état sanitaire : ce classement correspond assez bien à celui des notes de résistance à C. herpotrichoides. Le double traitement fongicide réduit sensiblement la fréquence des épis échaudés, mais s'avère moins efficace sur Cappelle et sur Hardi (significatif à  $P = 0.10$ ). Compte tenu des conditions de l'année, et de la faible fréquence de ces symptômes extrêmes, l'application des fongicides n'est pas valorisée ( $+ \frac{1}{2}$  quintal/ha). Les différences entre variétés sont au maximum de 4 q/ha (en monoculture, et sans protection sanitaire).

Il est évident que pour caractériser les réactions variétales au milieu cultivé, et particulièrement aux peuplements parasites, ce type d'expérimentation nécessite un plus grand nombre de répétitions. Cependant l'examen des résultats moyens, portant sur trois années, fournit déjà des indications intéressantes. En Blé sur Blé, le rendement de Champlein et Hardi est légèrement inférieur à celui des autres variétés. L'efficacité des fongicides diffère sensiblement entre les cultivars, mais cette variabilité s'explique assez bien par leur niveau de résistance au piétin-verse\* (coefficient de corrélation significatif à  $P = 0.10$ ). Ceci confirme l'incidence prédominante de C. herpotrichoides dans nos monocultures. D'après ces résultats, il apparaît que le recours à la lutte chimique peut être évité dans le cas des variétés les plus résistantes (Cappelle et Atou), tout en ne concédant qu'une faible réduction de rendement (3 q/ha contre 6 q/ha pour les variétés les plus sensibles : Champlein et Talent). L'ordre de grandeur de ces écarts reste probablement assez relatif, puisque ces expériences ne portent que sur des seconds, ou troisièmes, Blés consécutifs. Une alternance des moyens de lutte génétique et chimique, contre le piétin-verse, semble donc possible au sein de la monoculture de Blé, en acceptant de faibles réductions de rendement. Il est d'ailleurs probable que l'introduction, dans de nouvelles variétés, de gènes de résistance provenant d'autres espèces (DOUSSINAULT et al., 1974), augmentera l'efficacité de la lutte génétique.

En ce qui concerne le rôle respectif des deux traitements fongicides, régulièrement appliqués dans nos essais au début de la montaison, et à la floraison, les résultats obtenus sur des troisièmes Blés, en 1975, apportent des éléments de réponse. Dans cet essai, en plus du témoin, et du double traitement, était testé le seul traitement "début montaison". Cette première intervention apparaît comme étant

\* d'après les résultats des deux années 1974 et 1975.

la plus déterminante vis-à-vis du rendement. Ceci confirme, pour l'année, la prédominance de C. herpotrichoides au sein de la flore pathogène (tableau 60). Son action s'exerce surtout au niveau du peuplement en grains par m<sup>2</sup>, par l'intermédiaire du peuplement-épi, et de la fertilité.

L'étude des composantes du rendement portant sur les moyennes des deux années 1974 et 1975 font apparaître des réactions différentes des variétés au double traitement fongicide (fig. 31). Les trois variétés, présentant le meilleur état sanitaire, et valorisant le moins les traitements, ont une structure de rendement analogue, caractérisée par un poids de 1000 grains élevé (et un peuplement en grain/m<sup>2</sup> faible). Ces variétés, Maris Huntsman, Cappelle et Atou, sont parmi les plus tardives, et les plus résistantes au piétin-verse. Cependant ces caractéristiques n'expliquent pas à elles-seules leur comportement différent. Parmi les cinq autres variétés, certaines ont une "tardivité" équivalente aux précédentes (Hardi, Joss), ou une bonne résistance au piétin (Joss, Top). L'effet des fongicides se manifeste pratiquement toujours sur le tallage-épi, et parfois sur lui seul (Hardi, Top), mais il peut aussi provoquer un accroissement significatif du poids moyen des caryopses (Champlein, Joss et Talent). Le fait qu'aucune caractéristique variétale n'explique à elle seule ces différences de comportement est compréhensible, compte tenu des nombreuses interactions pouvant résulter de l'application des fongicides, et, en particulier, des incidences des parasites du feuillage et de l'épi (relativement peu développés au cours de ces deux années). Il est cependant remarquable que les variétés assurant leur rendement, surtout par le tallage-épi et par la fertilité de l'épi, valorisent mieux l'emploi des fongicides, que celles dont le poids de 1000 grains est le principal facteur de la productivité.

#### 4 - Interaction entre les traitements fongicides et la fumure azotée.

L'étude simultanée de ces deux interventions culturales, s'impose pour adapter la conduite de la culture du Blé, en condition de monoculture, puisque l'état sanitaire, et l'alimentation azotée, y constituent deux des principaux problèmes. Cette approche permet de montrer dans quelle mesure les maladies fongiques limitent la valorisation des apports d'azote minéral, et, également, de préciser les comportements variétaux.

Le tableau 61 récapitule les rendements moyens obtenus pendant trois ans (1973-4-5) sur la variété Cappelle (essai n° 1), sous l'effet du double traitement fongicide, et de la dose d'azote de 150 u/ha, ainsi que les augmentations relatives, dues à ces deux interventions. Seuls les effets "année, "rang de la culture", "fongicide" et "fongicide x année" sont significatifs. L'application des fongicides ne modifie pas, en moyenne, la valorisation des 50 unités d'azote supplémentaires. Sur les trois années, l'effet des traitements fongicides se traduit par une augmentation de rendement de 8 %, celui du supplément d'azote par une hausse de 12 %, et l'action simultanée de ces deux facteurs se résume sensiblement par l'additivité des effets simples (+ 23 %). Une interaction entre l'azote et les fongicides a été observée uniquement en 1974 (azote : + 9 %, fongicides : + 11 %, azote et fongicides : + 28 %). En ce qui concerne l'évolution des rendements, en fonction du rang de la culture, l'amplitude moyenne de la diminution, par rapport au Blé de Betterave, n'est plus que de 10 %, à la suite de l'application de fongicides, et d'une dose optimum d'azote (fig. 32). Ces deux opérations culturales interagissent en fonction du rang de la culture, sur les composantes du rendement, et principalement sur les peuplements en épis et en grains. Comme le montre la figure 30 représentant les modifications de la structure du rendement, l'effet simultané de l'azote, et des fongicides, est marqué par une augmentation plus importante des nombres d'épis et de grains par m<sup>2</sup>, dans le cas des Blés en monoculture, par rapport au Blé de Betterave. La compensation exercée par le poids de 1000 grains, atténuée sensiblement cette interaction sur le rendement en grain. Ces résultats tendent donc à montrer que la réduction du poids de 1000 grains n'est pas consécutive à une aggravation de l'état sanitaire de la culture, sous l'effet des doses élevées d'azote (ce qui d'ailleurs est confirmé par les estimations d'indice d'attaque de Cercospora herpotrichoides, et par les notations des autres agents pathogènes).

Dans la monoculture de Blé implantée en 1965 (essai n° 8), les résultats conduisent à une conclusion analogue pour l'intervalle de variation de la fumure azotée de 100 à 150 u/ha (tableau 62). Par contre, l'effet des fongicides améliore l'efficacité de la fumure entre 150 et 200 u/ha, en procurant une augmentation significative du rendement (4 q/ha en moyenne). La protection sanitaire permet d'atténuer le phénomène de compensation existant entre le peuplement

en grains par m<sup>2</sup> et le poids de 1000 grains, en assurant une meilleure valorisation de la seconde fraction de l'apport azoté (fig. 33).

Somme toute, il apparaît que dans nos conditions agroclimatiques, l'application de fongicides sur les Blés en monoculture modifie relativement peu la courbe de réponse du rendement à l'azote. L'efficacité d'un apport de cet élément a pu être améliorée, deux années sur trois, au-delà de la dose 150 u/ha, sur la variété Champlain. Il est encore difficile de faire la part des différentes causes de variation (situation topographique, aptitude variétale à valoriser la fumure azotée, et résistance au piétin-verse) vis-à-vis de ce phénomène, dont l'incidence reste, finalement, limitée.

#### 5 - Interaction entre les fongicides et l'époque de semis.

Nous avons montré précédemment que les effets résiduels de différentes séquences culturales, sur le rendement en grain de la variété alternative Ch. Péguy, ne sont pas sensiblement conditionnés par l'époque de semis. La variation de la durée de l'interculture, et le raccourcissement des phases de développement qui en résulte, sont susceptibles d'influer sur les conditions de contamination des agents pathogènes, et sur l'évolution des maladies. L'application de traitements fongicides sur la variété Ch. Péguy (sensible au piétin-verse) a permis de préciser l'importance de ces modifications. Les résultats moyens, obtenus au cours des trois ans d'essai (1973-4-5), montrent que le fait de retarder le semis d'environ deux mois (début janvier, au lieu de la fin octobre), ne modifie pas sensiblement la valorisation du double traitement fongicide (fig. 34). Par contre, les semis de printemps (début mars) présentent un meilleur état sanitaire, et ne réagissent pas aux traitements. Cette interaction entre l'époque de semis et les fongicides se manifeste de façon analogue dans les trois successions culturales (rotation Betterave-Blé, monocultures de Blé d'automne et de Blé d'hiver).

#### 6 - Conclusion.

L'utilisation des traitements fongicides dans les essais de monoculture, permet de réduire sensiblement l'incidence du piétin-verse, de la fusariose, et de la plupart des maladies du feuillage, sur le rendement en grain du Blé. Cette méthode de lutte chimique ne supprime

pas totalement les différences de rendement existant avec les Blés en rotation. L'étude de l'efficacité des traitements, dans des conditions culturales différentes, conduit à distinguer les facteurs les plus influents vis-à-vis de l'état sanitaire du Blé en monoculture : les conditions de milieu (nature du sol, environnement), et les variétés.

Si comme nous l'avons vu précédemment, les niveaux de résistance des variétés actuellement inscrites au catalogue\*, ne permettent pas encore d'envisager une véritable alternative entre les moyens de lutte génétique et chimique, les travaux en cours, notamment sur l'introgres-sion de gènes de résistance au piétin-verse, provenant d'autres espèces, permettront sans doute de mettre au point des stratégies intégrant ces deux types de protection.

Dans la pratique, l'usage des fongicides, qui est souvent considéré comme un "traitement d'assurance" peut être rationalisé, grâce, notamment à la prévision des attaques cryptogamiques (RAPILLY et al., 1975). Les applications foliaires de fongicides ont des incidences encore mal connues, sur l'évolution de la mycoflore de la rhizosphère du Blé (SRIVASTAVA et al., 1970). Elles risquent de favoriser des parasites non sensibles, en supprimant la microflore antagoniste.

Leur emploi répété peut rendre possible une adaptation des parasites, comme l'ont montré LEMAIRE et JOUAN (1973) dans le cas de Cercospora herpotrichoides, ou bien provoquer l'apparition de souches résistantes. Ce dernier risque est d'autant plus important que les fongicides systémiques agissent au niveau d'un faible nombre de sites biologiques du végétal, dépendant souvent d'un seul gène (LEROUX, 1973). En contre partie, la réduction des symptômes de Cercospora herpotrichoides sur les chaumes, à la suite des traitements, permet de penser que l'inoculum peut, après quelques années, être considérablement réduit, compte tenu de la faible durée de survie du parasite sur les déchets culturaux.

Comme le souligne CRESPIY (1973), on peut espérer que d'autres méthodes de lutte chimique soient mises au point, en particulier dans le cas des maladies du pied. Des traitements préventifs appliqués sur les chaumes de la culture précédente présenteraient de nombreux avantages (produits peu sélectifs plus efficaces, suppression des interventions sur la végétation, limitation des risques d'apparition de nouvelles souches résistantes).

\* avant l'inscription de Roazon

D - Utilisation du CCC.

Les traitements à base de chlorure de chlorocholine (chlormequat, ou CCC) ont fait l'objet de nombreuses expérimentations depuis une quinzaine d'années, et leur application a connu un certain développement en grande culture. Sur le Blé, le CCC provoque un raccourcissement de la tige, d'autant plus important que le traitement est réalisé plus tardivement (KOLLER, 1969). Il s'ensuit une augmentation de la résistance à la verse physiologique, mais également vis-à-vis du piétin-verse (Cercospora herpotrichoides) (BOCKMANN, 1963 ; DIERCKS, 1965 ; VEZ, 1968). Ce dernier effet est probablement dû à l'épaississement des parois des entre-nœuds raccourcis (DIERCKS, 1965 b), puisque le CCC ne présente aucun pouvoir fongicide (DEFOSE, 1966).

C'est en raison de son action sur la résistance à la verse, d'ailleurs plus ou moins intéressante selon les variétés (KOLLER, 1969 ; VEZ, 1974), que le CCC est parfois utilisé en monoculture de Blé, conjointement avec de fortes fumures azotées ; il peut alors s'ensuivre une hausse sensible du rendement. Cependant à côté de son effet favorable vis-à-vis du piétin-verse, il tend à accroître la sensibilité de la céréale à Fusarium culmorum et à Septoria nodorum (BRONNIMANN, 1969), et à favoriser l'infestation de Puccinia striiformis (GILL et al. 1975).

L'intérêt du CCC en monoculture de Blé paraît limité, parce que les risques de verse physiologique dus à un excès d'alimentation azotée y sont moindres qu'après des précédents culturels donnant lieu à des restitutions organiques riches en azote (KUPERS, 1972), mais aussi, parce que l'utilisation des fongicides permet de lutter efficacement contre C. herpotrichoides et contre les champignons du feuillage et de l'épi. De plus, les variétés nouvelles peuvent valoriser des fumures azotées importantes grâce à leur meilleure résistance à la verse. L'emploi du CCC peut être réservé aux cas de semis très précoces, pour lesquels les risques de verse sont plus élevés, du fait de l'abondance du tallage (VEZ et GINDRAT, 1973 ; VEZ, 1974).

E - Lutte chimique contre Les nématodes phytophages.

A la station expérimentale de Grignon, PEQUIGNOT et RECAMIER (1961) ont mis en évidence en 1957 une infestation de nématodes (Heterodera avenae et Pratylenchus), qui, avec la présence de Cercospora herpotrichoides, avait pour effet de limiter le rendement du Blé, en rotation céréalière intensive, à un niveau avoisinant 30 qx/ha. L'application d'un traitement nématocide (Dibrométhane) avait permis de montrer une incidence très nette du précédent cultural sur ces peuplements parasites. Si l'effet du traitement était significatif dans tous les cas, il était de loin supérieur dans le cas du Blé sur Blé.

Dans les mêmes conditions expérimentales, nous avons cherché à estimer l'importance de la diminution de rendement, imputable à l'infestation des nématodes dans deux essais de monoculture. Pour ce faire, un traitement à base d'Aldicarbe a été incorporé à la couche superficielle du sol, avant le semis, à la dose de 200 kg/ha. Cette matière active a une action curative et préventive. Mais le fait que sa rémanence soit limitée à soixante jours peut cependant se traduire par une protection éphémère, surtout dans le cas des Blés d'hiver vis-à-vis d'Heterodera avenae, puisque, dans le nord de la France, l'éclosion et la pénétration des larves dans les racines, ont lieu généralement au printemps (RIVOAL, 1975).

En 1973-4, un traitement à l'Aldicarbe, effectué avant le semis du Blé d'hiver (Cappelle) dans des micro-parcelles, à l'intérieur de l'essai portant sur une succession de six Blés consécutifs, n'a pas eu de conséquences marquées sur la végétation du Blé.

Lors de la campagne 1974-5, un traitement identique a été réalisé dans des sous-parcelles (surface de 105 m<sup>2</sup>) de l'essai n° 7, avant les semis du Blé alternatif. L'essai comporte trois époques de semis, et trois successions culturales (tableau 63). L'application du nématocide provoque en moyenne une augmentation de rendement de 4 quintaux par hectare. Son efficacité ne diffère pas significativement entre les trois séquences de cultures, ainsi qu'entre

les trois époques de semis. Ces résultats tendent à montrer que le niveau d'infestation est, somme toute, relativement bas, et que, dans ces conditions, les antécédents culturaux, et l'époque de semis, n'ont pas d'influence marquée sur le développement des attaques. Des analyses nématologiques du sol, et des plantes, réalisées en 1976, confirment d'ailleurs le faible niveau des peuplements parasites (cf. 3<sup>ème</sup> partie).

L'étude des composantes du rendement met en évidence, un léger effet favorable du traitement sur le peuplement en individus, mais également sur les caractéristiques de l'épi. Toutefois, les réactions du végétal diffèrent sensiblement en fonction de l'époque de semis. L'effet du traitement sur les composantes de peuplement, est surtout marqué dans le cas du semis d'automne, tandis que le Blé semé au printemps réagit uniquement par un accroissement de la fertilité de l'épi, et du poids de 1 000 grains. Cette réaction différente du végétal au traitement, significative au niveau du poids de 1 000 grains, mériterait d'être précisée, en relation avec la période d'éclosion des larves de nématodes ; car elle pourrait être à l'origine d'une plus grande sensibilité des variétés semées au printemps.

Cette expérience nous permet d'apprécier, l'incidence (faible en l'occurrence) qu'ont pu avoir, dans nos conditions et, pour l'année considérée, les nématodes sur le Blé en culture répétée. Cependant, la méthode indirecte utilisée, présente une certaine incertitude due aux perturbations importantes provoquées par le traitement du sol, au sein des microorganismes, et des insectes (NUSBAUM et FERRIS, 1973).

## CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE

Dans les deux premières parties de ce mémoire, nous nous sommes efforcés d'analyser les effets résiduels induits (ou transformés) par la culture continue du Blé tendre, au travers des réactions de la céréale. Cette analyse a été réalisée à partir d'une approche originale intégrant :

- d'une part, la constitution d'un complexe expérimental composé d'un ensemble de dispositifs pérennes à effets cumulatifs, associant selon des plans factoriels, la plupart des facteurs mis en jeu dans le système de culture,

- et d'autre part, l'étude biométrique des principales caractéristiques de la végétation, destinée à préciser l'origine des effets résiduels, l'époque de leur manifestation, et les réactions ultérieures du végétal.

Cette approche a permis de préciser l'importance relative des effets résiduels des cultures, par rapport aux autres causes de variabilité (conditions climatiques, et interventions culturales). La cohérence des résultats expérimentaux est l'une des conclusions importantes de cette étude, puisqu'elle permet de mettre en évidence l'homéostasie du milieu. Ceci ressort avec évidence de la convergence des résultats suivants :

- La régularité des effets de coupure dus à une seule culture de Betterave, sur le comportement des Blés suivants. Laquelle coupure restaure pratiquement le niveau de rendement du Blé suivant, sur une parcelle maintenue auparavant en monoculture.
- La diminution modérée du rendement enregistrée, en monoculture et sans protection sanitaire, sous des apports d'engrais azotés voisins de l'optimum (9 % en moyenne sur quatre années).
- La stabilisation des rendements qui se manifeste après quelques années, dès la dissipation des effets résiduels de la coupure, et qui paraît se prolonger au-delà de la décennie, sans s'accompagner d'une variabilité interannuelle accrue.

- La correspondance étroite mise en évidence entre l'efficacité de la fumure azotée sur le Blé en rotation et sur le Blé en monoculture.
- L'évolution semblable des rendements d'une variété d'hiver et d'une variété de printemps au cours de la culture continue, ainsi que l'absence d'interaction entre l'époque de semis et les antécédents culturels.

Tous ces résultats s'expliquent en grande partie, par le fait que l'état sanitaire du Blé ne s'aggrave pas sensiblement au cours des premières années de monoculture, ainsi qu'à plus long terme. L'incidence du parasitisme tellurique ne suit pas, dans nos conditions, un processus cumulatif. Comme le montre l'irrégularité de l'efficacité des fongicides appliqués sur la végétation, le développement du principal agent pathogène rencontré (Cercospora herpotrichoides), dépend en premier lieu des conditions climatiques. Il est donc possible d'envisager une stratégie reposant sur l'opportunité de ces interventions chimiques, grâce à l'appréciation d'un seuil de nuisibilité, ce que préconisent les nombreux auteurs évoqués par RAPILLY et al. (1975), et par VEZ et GINDRAT (1976).

Le comportement des différents cultivars expérimentés se traduit par une variabilité modérée de leur rendement, sinon de leurs composantes, imputable à leur productivité respective, et de façon sensible à leur niveau de résistance au piétin-verse. Même en tenant compte de la gamme de résistance limitée qu'elles présentent (par rapport aux derniers progrès réalisés), la variabilité de la valorisation des fongicides permet d'envisager une stratégie fondée sur l'alternance de la lutte génétique et de la lutte chimique, au sein de la monoculture, tout en n'acceptant qu'une faible perte de rendement. L'intérêt économique d'une telle stratégie devrait être sensiblement amélioré grâce au meilleur niveau de résistance de la variété Roazon.

Les résultats obtenus ont permis de vérifier que l'adaptation de la fertilisation azotée est l'une des conditions prépondérantes vis-à-vis du rendement du Blé en monoculture. Il n'a pas été possible de mettre en évidence une réduction de la valorisation des apports d'azote minéral, imputable à l'ancienneté de la culture continue, du fait de modifications du sol (parasitisme, activité biologique, état structural, ...). Par contre les hauts niveaux de fumure régulièrement appli-

qués en monoculture de longue durée n'ont pas nettement influé sur le développement du parasitisme tellurique.

Enfin, il faut constater que l'adaptation des principaux facteurs culturaux (variété résistante au piétin, fertilisation azotée, traitements fongicides) a sensiblement atténué les effets résiduels, mais n'a cependant pas permis d'obtenir en monoculture un rendement analogue à celui d'un Blé en rotation.

\* \* \*

TROISIEME PARTIE

MODIFICATIONS DU MILIEU  
INDUITES PAR LA MONOCULTURE  
ET  
ESSAI DE SYNTHÈSE



\*  
\* \*  
\*

Si la végétation est influencée par son environnement, il existe à l'inverse des rapports de dépendance entre la plante et le milieu, selon lesquels, la pratique culturale induit des modifications de l'agro-écosystème. S'agissant de la succession des cultures, les éléments du système, directement ou indirectement concernés sont les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, et les populations susceptibles d'exercer une compétition (mauvaises herbes), ou de parasiter les espèces cultivées (parasites animaux et champignons). Quoiqu'en raison de leur interdépendance, il soit difficile de dissocier certaines influences qu'exercent les cultures sur ces paramètres biologiques de l'agro-écosystème, et d'établir l'enchaînement des modifications, nous distinguerons dans cette partie les principales caractéristiques du milieu cultivé évoquées ci-dessus. Il s'agira, d'une part, de situer l'étude du comportement du Blé dans son contexte agro-écologique, et, d'autre part, d'analyser les conséquences que peut entraîner la monoculture céréalière, au sein de l'agro-écosystème. Ce développement permettra, à l'aide d'éléments bibliographiques, de montrer la variabilité des contraintes affectant cette pratique, et de confronter les moyens actuellement disponibles pour maintenir les équilibres biologiques de l'agro-écosystème.

\*  
\* \*  
\*

I - INFLUENCE DE LA MONOCULTURE DU BLE SUR LES CARACTERISTIQUES  
DE L'AGRO-ECOSYSTEME

A - Influence de la succession des cultures

sur les propriétés physico-chimiques du sol.

1 - Modes d'action des cultures céréalières sur les propriétés du sol.

Quoique le mode d'action des cultures sur les propriétés physiques du sol soit complexe, on connaît assez bien les effets que peuvent exercer le végétal, et les façons culturales, sur l'état structural du sol, sur son évolution, et sur sa résistance à la dégradation.

. Les modalités de travail du sol, qui ont été évoquées précédemment constituent la cause première de variation de l'état structural de la couche superficielle.

. Sous la végétation, l'état structural du sol évolue sous l'effet de la croissance et du fonctionnement du système racinaire.

L'activité des racines développe la fissuration du sol, par des effets mécaniques, et par sa participation aux alternances de dessiccation et d'humertation (BUIHUU TRI, 1968). La stimulation de microorganismes producteurs de substances agrégatives, au sein de la rhizosphère, provoque, indirectement, l'effet améliorateur de la structure que l'on reconnaît au système racinaire fasciculé des graminées (WEBLEY et al., 1965 ; HENIN et al., 1969).

. Après la récolte du Blé, l'enfouissement des déchets culturaux, des chaumes, et, éventuellement, des pailles après broyage, conditionne l'évolution du profil cultural, et dans une certaine mesure les effets résiduels de la culture.

L'effet favorable des enfouissements répétés de paille sur les propriétés physiques du sol (facilité de travail, perméabilité aux pluies violentes, etc...) a été souligné par MONNIER (1965). Cependant, dans certaines terres leur décomposition est très lente, et peut occasionner le maintien d'une structure creuse défavorable à la culture suivante. En sol humide, une localisation des pailles au fond du labour provoque une gleyification qui donne lieu à des zones inexploitable par les racines.

L'influence sur la stabilité structurale du sol s'explique en partie par l'effet protecteur qu'exercent les racines et les radicelles, vis-à-vis des agrégats (BUI HUU TRI, 1968), et par le rôle de ciment assuré par leurs produits de décomposition (HENIN et al., 1969). L'enfouissement des pailles peut également contribuer à améliorer la stabilité structurale (MONNIER, 1965 ; SEBILLOTTE, 1968). Ces effets dépendent, tout d'abord, des propriétés intrinsèques du sol, ils se manifestent surtout dans le cas où son instabilité est élevée. Ces modifications sont transitoires, elles sont liées à l'activité de la microflore, et leur efficacité résiduelle dépend de la masse de matière végétale incorporée au sol (GRAFFIN, 1971).

Les céréales exercent des effets favorables sur l'agrégation du sol, et sur sa stabilité structurale. Ces effets paraissent susceptibles de se cumuler d'une année sur l'autre, dans le cas des cultures continues (EMMOND, 1971 ; HUGE, 1975).

## 2 - Effets à terme des successions céréalières sur les propriétés physico-chimiques du sol.

### a) Evolution de la teneur en matière organique du sol

De nombreuses observations faites en plein champ, en région tempérée, et sous des conditions de culture courantes, ont permis d'estimer la proportion de l'humus dégradée annuellement par la microflore du sol ; elle est de l'ordre de 1 à 2 % (HENIN et al., 1969).

Les restitutions organiques des cultures, en fonction de leur composition chimique, sont plus ou moins aptes à subir l'humification. Différentes caractéristiques sont, à cet égard, déterminantes : la teneur en azote et le rapport carbone/azote, la proportion des constituants labiles, et la présence dans les tissus de substances biologiquement actives (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). Les conditions extérieures relatives au sol, au climat, ainsi qu'aux interventions culturales, sont également susceptibles d'influer sur l'humification. Sous un certain nombre d'hypothèses, la constance des coefficients de transformation, la proportionnalité entre la décomposition des différents types de matière organique et leur masse globale dans le sol, plusieurs modèles théoriques ont été proposés pour représenter l'évolution de la quantité d'humus du sol (HENIN et DUPUIS, 1945 ; JENKINSON, 1963 ; HENIN et al., 1969).

Si l'on se réfère aux évaluations des restitutions humiques des cultures de Blé proposées par HEBERT (1957), même en tenant compte du fait que le coefficient isohumique de la paille ait pu être surestimé (HENIN et al., 1969), il apparaît que le bilan humique est susceptible d'être équilibré dans un système céréalier, à condition toutefois, que tous les résidus de récolte soient enfouis.

b) Type de sol et niveau de matière organique.

Certains effets des cultures présentent une persistance suffisante pour se cumuler d'une année sur l'autre et provoquer ainsi une évolution des caractéristiques du sol. L'un des objectifs du choix des cultures est d'entretenir ou de relever le niveau de fertilité du sol. Pour certains types de sol, la matière organique apparaît comme étant la composante principale de la fertilité, par son incidence sur les propriétés physiques, et sur le complexe absorbant. C'est le cas des sols légers dans lesquels le niveau insuffisant des facteurs contribuant à la formation des éléments structuraux (colloïdes argileux, composés ferriques, carbonate de calcium, et activité biologique) est à l'origine d'accidents structuraux (WILKINSON, 1964).

HEUZE (1862) avait mis en évidence que le système de culture entraînait des effets différents selon les conditions du milieu. Bien que l'influence différentielle de la rotation soit soulignée par différents auteurs (HEBERT, 1957 ; HORNE, 1973), il est probable que l'évolution des techniques a permis d'outrepasser l'aptitude culturale de certains sols. Un risque existe surtout pour les sols où la recherche d'un rendement immédiat, principalement par l'intensification céréalère, n'est pas accompagnée d'un aménagement du système de culture, destiné à entretenir leur capital de fertilité essentiellement lié au taux d'humus (LAMBERTS et LIVENS, 1973 ; MARTY et FIORAMENTI, 1970). Cependant, la succession des cultures n'est pas le seul élément entrant en ligne de compte, elle apparaît parfois insuffisante pour accroître la productivité de sols légers (KRZYMUSKI et al., 1968) ; les autres caractéristiques du système de culture et les amendements humiques sont également des facteurs importants.

Si les rotations à dominante céréalère ne sont pas à même d'améliorer les caractéristiques structurales des sols ayant des propriétés physiques et mécaniques favorables, il ressort des nombreuses

études réalisées sur des monocultures céréalières que, dans la plupart cas, leur pratique n'entraîne pas, à terme, d'évolution dangereuse vis-à-vis du potentiel de productivité. Sur des périodes d'au moins dix années, et sur des sols très divers, mais bien structurés, de nombreux auteurs n'ont pas constaté d'appauvrissement sensible des réserves humiques du sol (MUNDY, 1969 et 1974 ; VORUB'EV et al., 1973 ; HUGÉ, 1975).

Un aménagement du système de culture, notamment par l'enfouissement de pailles (éventuellement avec des engrais verts) peut, même dans le cas de sols légers, permettre d'accroître le taux de matière organique du sol, et d'en améliorer les propriétés physiques (DEBRUCK, 1970).

c) Conséquences de la monoculture sur la nature de l'humus.

Dans la mesure où la culture continue d'une seule espèce végétale, donne lieu à des incorporations répétées de matière organique de qualité régulière, et peut-être à une spécialisation de la microflore du sol, on peut penser qu'à terme la composition de l'humus soit modifiée.

JENKINSON (1963) définit la période du "recyclage" (turn-over), pour un sol à l'équilibre humique, comme la durée permettant la minéralisation d'une quantité d'humus équivalente à celle du stock. Sous les hypothèses classiques, il estime, qu'en près d'un demi siècle, la totalité de l'azote organique du sol est susceptible d'être renouvelé, grâce aux restitutions d'une monoculture d'Orge.

Les quelques études relatives à l'influence de la monoculture céréalière sur la nature des matières humiques, ne permettent pas de conclure sur une modification de leur qualité, pouvant entraîner une évolution de la fertilité du sol. Les conditions pédoclimatiques paraissent, en général déterminantes (JEGOROV et LYKOV, 1962 ; JEGOROVA, 1966 ; RUBENSAM, 1966 ; MUNDY, 1969 ; AMBROZOVA, 1974 ; TALAFANTOVA, 1974).

3 - Etat des principales caractéristiques physico-chimiques du sol dans les essais de successions culturales de Grignon.

a) Carbone total et azote total

Dans nos expériences, l'évolution de la teneur en matière organique du sol, en fonction des successions culturales, ne peut pas être retracée puisque, lors de l'implantation de ces essais, il n'avait pas été prévu

d'échantillonnage pour les analyses de sol. Par ailleurs, les comparaisons portant sur des parcelles appartenant à des dispositifs distincts présentent évidemment un biais, dû à l'hétérogénéité du sol.\* Enfin, les différents essais n'ont pas été implantés simultanément.

L'étude des teneurs en carbone total et en azote total d'échantillons de sol prélevés (en février 1974) dans des parcelles ayant porté des successions culturales diversifiées, permet cependant d'apprécier le taux actuel de la matière organique.

#### Résultats (cf. tableau 64)

Parmi les successions de culture, certaines d'entre-elles, font partie du même dispositif; les traitements correspondant ayant été répartis, au hasard, la comparaison statistique de leurs critères est donc valable.

Dans l'essai de rotation, où Maïs-grain ou Betterave fourragère précèdent le Blé d'hiver, et au sein duquel, l'ensemble des résidus culturaux (pailles incluses) est restitué au sol, le fait d'avoir substitué deux cultures de Betterave à des Maïs n'a pas significativement modifié les taux d'azote et de carbone. En revanche, l'introduction de deux prairies temporaires, maintenues chacune pendant trois ans, permet d'obtenir un taux de matière organique significativement supérieur (+ 12 %) à celui mesuré sous la rotation triennale de référence (Pomme de terre-Blé-Orge).

En ce qui concerne les autres types de successions, s'il n'est pas possible de comparer les caractéristiques de la matière organique du sol, compte-tenu des raisons évoquées précédemment, il est cependant intéressant de les apprécier par rapport aux normes utilisées pour ce type de sol (normes de la Station Agronomique de l'Aisne).

On constate que, dans tous les cas, les taux de matière organique peuvent être considérés comme "normaux" à bien "pourvus". Ceci tend donc à montrer que, dans ce type de sol, comprenant une bonne proportion

\* L'hétérogénéité du sol est assez faible en particulier sur le plateau : des sondages effectués dans les allées (pérennes), au voisinage de chaque essai, permettent d'estimer à 4 % le coefficient de variation de la teneur en matière organique du sol.

de matière organique, les influences cumulées des cultures, et de leurs pratiques culturales associées, ne transparaissent pas sensiblement après un laps de temps variant de 6 à 12 ans. De plus, le taux de matière organique est normal dans la sole maintenue en Blé sur Blé depuis 1900, où pourtant, les seules restitutions organiques sont les chaumes et les racines.

La monoculture de Blé, dans ce contexte, n'entraîne pas à court ou à long terme un appauvrissement en matière organique du sol, même en exportant systématiquement les pailles, et sans apporter d'amendement organique. Cet état actuel du stock humique du sol sous des rotations et monocultures très diversifiées, constitue une base de référence pour une étude complète de l'évolution du taux de matière organique, pouvant déboucher sur un bilan humique. L'inertie de l'évolution, dans ce type de sol, est telle, que seules des cultures très "typées" comme la prairie temporaire (à base de Luzerne), et à l'opposé la Pomme de terre dont les résidus organiques sont négligeables, sont susceptibles, après, une période de l'ordre de la décennie, d'influer sur le taux de matière organique.

#### b) Réaction du sol.

Des contrôles de pH ont été réalisés dans les essais de monoculture et, à titre de référence, dans des essais portant des rotations variées. Les résultats obtenus pour le pH ( $H_2O$ ), sont regroupés dans le tableau 65, par zones homogènes, à l'intérieur desquelles les comparaisons entre rotations sont possibles. La mesure du pH (KCl) n'a pas fourni d'information supplémentaire, montrant ainsi, que la saturation du complexe absorbant par le calcium n'a pas été modifiée par les traitements expérimentaux. A l'intérieur de chacune des zones homogènes du champ d'essai, les successions de culture, appliquées pour la plupart d'entre elles depuis une dizaine d'années, n'ont pas, malgré les différences de restitutions organiques, modifié la réaction du sol. Ceci s'explique fort bien dans un tel type de sol comprenant 3 % de calcaire total et dans lequel le calcium représente 81 % du complexe absorbant.

#### 4 - Conclusion.

Dans nos conditions expérimentales, la monoculture du Blé, même en l'absence de restitution des pailles, n'a pas sensiblement altéré

les propriétés physico-chimiques du sol. Il semble, que, d'une façon générale, les caractéristiques du sol permettent de prévoir son comportement en régime de monoculture céréalière. Dans les terres où la stabilité structurale est assurée par la texture et par la composition du complexe absorbant, la succession des cultures n'est pas à même de poser des problèmes sérieux; par contre, dans les types de sol où la stabilité structurale est liée à la teneur, et à la nature de la matière organique, un système de culture mal adapté, soit par la succession, soit par le programme des restitutions organiques des cultures, peut être à l'origine d'accidents structuraux.

B - Influence de la succession des cultures sur la microflore du sol.

1 - Influence de la culture du Blé sur les microorganismes du sol.

Chaque culture provoque des modifications plus ou moins durables au sein des populations de microorganismes du sol, par ses effets sur les conditions physiques du sol, et en raison de son influence sur les conditions trophiques du milieu édaphique.

L'effet rhizosphère est la manifestation de l'influence du système racinaire des plantes sur la microflore du sol (STARKEY, 1929 ; RIVIERE et CHALVIGNAC, 1971). S'il est sous la dépendance de facteurs édaphiques (PETERSON, 1962), et de la richesse du sol en substances nutritives, il est aussi caractérisé par sa spécificité. Certains groupes de microorganismes sont plus sensiblement influencés par une espèce botanique, voire même par un cultivar donné (RIVIERE et CHAUSSAT, 1966 ; ATKINSON et al., 1975). L'effet rhizosphère, marqué par la succession de différents groupes de microorganismes, présente une intensité variable dans le temps, en relation directe avec le stade de développement de la plante. Dans le cas du Blé, son intensité maximum se manifeste à la fin du tallage, provoquant probablement une activation du métabolisme de l'azote, puis décline jusqu'à l'épiaison (RIVIERE, 1960). En dépit de sa sélectivité, ce phénomène ne semble pas jouer un rôle déterminant vis-à-vis de l'évolution de la microflore du sol, sans les monocultures : il reste en effet très éphémère.

Le rôle des résidus culturaux sur l'évolution de la microflore du sol est probablement plus important. Ces matières organiques subissent d'abord une colonisation spécifique, et influent ensuite sur les grou-

pes microbiens en fonction de leurs produits de décomposition (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). La réaction de la microflore est étroitement liée à la nature des résidus culturaux et à leur rapport C/N. Ainsi, l'addition de paille au sol provoque une "stimulation sélective" de certains groupes fonctionnels (SIMON G., 1960), pouvant se prolonger au cours de la période de décomposition. Cette réaction s'accompagne d'une augmentation de l'activité biologique (GOLOD, 1967 ; KANIVETS et al., 1971). Par ailleurs, la colonisation de ces substrats organiques conditionne la survie de certains champignons pathogènes saprophytes (BRUEHL, 1975).

Les exsudats racinaires du Blé ont fait l'objet de nombreuses études, évoquées par ROVIRA et al. (1967). Celles-ci mettent en évidence les interactions qu'elles exercent, vis-à-vis des microorganismes du sol (ROVIRA, 1965), et des agents pathogènes (SCHROTH et HILDEBRAND, 1964). En conditions naturelles, il reste cependant difficile de discerner l'origine des substances organiques (qui peuvent également provenir de la décomposition des résidus culturaux (BORNER, 1960), et de suivre leur évolution dans le sol. Du point de vue agronomique, l'appréciation de la contribution respective de l'exsudation racinaire, et de la décomposition des tissus morts, dans la libération des substances toxiques vis-à-vis des cultures permettrait de rationaliser le choix des espèces successives et le sort réservé aux résidus culturaux.

## 2 - Evolution de la microflore du sol en monoculture de Blé.

Le phénomène de "fatigue du sol" est assez rarement évoqué dans la bibliographie récente pour expliquer la réduction du rendement du Blé en culture continue, alors qu'il a été mis en évidence pour d'autres espèces ou pour certaines essences.

L'accumulation de substances phytotoxiques, pouvant être secrétées au sein de la rhizosphère, est due, le plus souvent, à une inhibition partielle de la microflore (BOULLARD et MOREAU, 1962). L'autotoxicité résulte surtout de phytotoxines libérées lors de la décomposition des déchets culturaux dans le sol (Mc CALLA et HOSKINS, 1964 ; PATRICK et al., 1965 ; VETTER et SCHONEICH, 1969) ; elle est parfois susceptible d'affecter le rendement des cultures de Blé suivantes. Cet effet dépressif peut se conjuguer à celui de la réorganisation temporaire de l'azote accompagnant la décomposition des pailles (BARBIER et BOISCHOT, 1964 ; KIMBER, 1973).

L'enfouissement régulier, d'une année sur l'autre, d'une masse importante de résidus culturaux de composition chimique identique, peut tendre à restreindre la diversité des espèces microbiennes (AMBROZOVA, 1974), et par conséquent, à modifier la composition des substances humiques (ELIADE et al., 1972 ; TALAFANTOVA, 1974). Cette évolution de la microflore sous l'effet de la monoculture a pu, dans ces études, être mise en évidence par les variations de la représentation saisonnière de ses principaux constituants, et par la réduction de l'activité biologique, du sol (dégagement de CO<sub>2</sub>, et azote minéralisable). Une évolution de la microflore a également été observée à la suite de l'accumulation dans le sol de tiges de Maïs (RIVIERE et al., 1970).

### 3 - Conclusion.

Parmi les influences de la succession des cultures sur les paramètres de l'agro-écosystème, celles qu'elle exerce sur la composition et l'activité de la microflore du sol sont actuellement encore peu étudiées. Ceci est sans doute dû au fait qu'elles ne se traduisent pas directement par des accidents culturaux. Les conséquences de ces modifications sont cependant importantes, non seulement vis-à-vis des propriétés du sol et de la nutrition des plantes, mais aussi au niveau des interactions avec les agents phytopathogènes (POCHON et de BARJAC, 1958 ; PARK, 1963 ; MESSIAN et al., 1965 ; MANUCA, 1967 ; ZOGG, 1969 ; JOUAN et LEMAIRE, 1974).

C - Influence de la succession des cultures

sur la minéralisation de l'azote organique du sol.

Le rôle de l'azote dans les effets résiduels des cultures est connu depuis longtemps ; pratiquement, il est mis en évidence par l'analyse de la végétation, et de façon indirecte, d'après l'efficacité des engrais minéraux azotés. La plupart des travaux portant sur les disponibilités en azote du sol en fonction des précédents culturaux, se sont orientés vers l'optimisation des doses d'apport, et de leur fractionnement, pour une culture donnée, permettant par là-même d'en déduire les quantités d'azote minéralisées, et leur vitesse de libération (CROHAIN et RIXHON, 1967). Actuellement des recherches sont en cours pour prévoir, à partir du reliquat présent dans le sol en fin d'hiver, et donc, en fonction du bilan azoté du précédent, les doses d'engrais nécessaires pour atteindre un objectif de rendement en grain du Blé d'hiver (HEBERT, 1975 ; LANGLET et FONTAINE, 1976).

L'étude de la dynamique de l'azote minéral dans le sol présente un certain nombre de difficultés, dues à la variabilité qui affecte les teneurs, tant dans l'espace (JACQUARD et al., 1970), que dans le temps (LIBOIS, 1968), et aux interactions que provoquent la présence d'un couvert végétal, et les apports d'azote minéral (CHABANNES, 1972).

1 - Influence des précédents culturaux sur la libération de l'azote minéral dans le sol.

A Gembloux, GUIOT (1967) a montré, à partir de prélèvements de sol effectués en automne, que dès cette époque, les effets résiduels de plusieurs précédents culturaux se manifestent nettement sur quantité d'azote minéral, et que les différences observées corroborent le classement habituellement reconnu de leur valeur culturale. Ces résultats mettent en évidence que l'influence des précédents se manifeste déjà avant le semis du Blé d'hiver, et qu'elle peut entraîner des différences d'alimentation azotée au début de sa végétation. Cependant, les besoins de la céréale au cours des premières phases de son développement restent limités, et n'extériorisent pas nécessairement ces potentialités différentes. Aussi avons nous choisi de suivre l'évolution de la teneur en azote nitrique du sol au cours de la période de croissance active de la céréale (fin février, à la mi-juin).

L'étude a porté sur un essai (N° 5), semé en Blé d'automne, qui comporte les trois séquences culturales suivantes :

- 1 - Maïs-Blé-Betterave-Blé
- 2 - Betterave-Blé-Maïs-Blé
- 3 - Maïs-Blé-Maïs-Blé

Afin de chercher à isoler l'effet des résidus culturaux du précédent (verts de Betterave, ou tiges de Maïs), incorporés au sol, les prélèvements ont été effectués à deux profondeurs distinctes (0-10 cm et 10-25 cm). L'évolution de la teneur en azote nitrique\* a été suivie dans des zones préalablement dénudées, ainsi que sous la couverture végétale (jusqu'au début de mai).

### Résultats

Sous la culture, la teneur en azote nitrique est toujours faible, elle ne représente que le reliquat momentanément inabsorbé par le système racinaire, bien développé à cette époque ; ses variations ne sont pas significatives (figure 35).

Sous les surfaces nues, on observe les tendances différentes entre les trois séquences culturales. Au cours du mois d'avril (début de la montaison du Blé), la libération d'azote nitrique dans les parcelles précédemment cultivées en Betterave, est sensiblement plus abondante, et plus précoce, d'environ une dizaine de jours, qu'à la suite du Maïs. Avant cette période, l'évolution de l'azote nitrique est identique dans les différentes situations (elle est d'ailleurs limitée par les températures basses). La différence de minéralisation mise en évidence à la suite des précédents Betterave et Maïs corrobore les observations faites sur la végétation du Blé. Le tallage herbacé, et le tallage épi sont plus abondants après la culture de Betterave.

La comparaison des séquences 2 et 3, présentant toutes deux un précédent Maïs pour le Blé, met en évidence un effet sensible de l'"anté-antéprécédent", à l'avantage de la rotation biennale Maïs-Blé. Ceci est également en accord avec la réaction de la végétation et du rendement en grain du Blé (cf. tableau 33).

\* la quantité d'azote ammoniacal reste toujours très faible dans ce type de sol.

Ces résultats, qui doivent être précisés par des études en cours, permettent de montrer que, dans nos conditions, la minéralisation de l'azote organique du sol joue un rôle prépondérant au sein des effets résiduels des précédents, même sur des cultures de Blé normalement fertilisées. Le fait qu'un antécédent exerce une influence sur les disponibilités en azote minéral du sol, au delà des deux cultures suivantes, engendrant ainsi des interactions résiduelles au terme de la séquence culturale, semble traduire des modifications relativement persistantes de l'ammonitrification, liées à la composition des résidus organiques.

## 2 - Etude expérimentale de l'influence de la succession des cultures sur l'azote minéralisable.

### a) Eléments bibliographiques

L'activité des microorganismes participant à l'ammonitrification varie avec les conditions pédo-climatiques du milieu, elle est dans une certaine mesure influencée par le système de culture. Pour mettre en évidence l'effet de la succession des cultures sur les potentialités de minéralisation de l'azote organique du sol, la méthode de l'"azote minéralisable" paraît intéressante, puisqu'elle permet de faire abstraction des incidences climatiques. Cette méthode, qui a fait l'objet de nombreuses utilisations, et mises au point (DROUINEAU et LEFEVRE, 1949 ; ALLISON et STERLING, 1959 ; LEMEE, 1967 ; ROBINSON, 1968 ; COLLIER, 1969), ne permet qu'une approche assez grossière des phénomènes participant à la minéralisation de l'azote. Cependant HARMSSEN et KOLENBRANDER (1965) ont pu montrer que les résultats des dosages d'azote minéralisable sont influencés par les précédents culturaux. Les résultats sont souvent étroitement corrélés avec ceux du dosage de l'azote total, qu'ils peuvent utilement compléter par une estimation de la vitesse de minéralisation. Cette méthode devrait être associée à un contrôle analytique de l'évolution de la microflore, et à l'appréciation de la contribution respective des matières organiques libres et liées (BLONDEL, 1971).

L'utilisation de cette méthode donne lieu à un certain nombre de difficultés, qui ont été développés par les auteurs cités précédemment. La validité des résultats de ce test biologique, et de leur comparaison, implique un protocole strict, auquel nous nous sommes astreint, notamment pour la simultanéité des prélèvements de sol et pour la régularité de la durée, et du mode de séchage à l'air (CORNFIELD, 1964).

L'inconvénient du séchage à l'air est de modifier la dynamique ultérieure de l'azote, mais dans le cadre de notre étude comparative, il permet de réduire considérablement la variabilité des résultats grâce à l'homogénéisation des échantillons, et à la précision des pesées effectuées sur la terre sèche.

b) Technique opératoire

- prélèvements et préparation et incubation des échantillons.
  - . 3 échantillons/parcelle → mélange → séchage à l'air (jusqu'à 25 cm de profondeur) (8 jours)
  - . proportions du mélange "sol/sable" : 20 g/30 g.
  - . les répétitions de l'expérience s'identifient aux blocs des dispositifs.
  - . humidité : 2/3 de la capacité de rétention. (pendant l'incubation, l'évaporation est évité grâce à un revêtement de parafilm).
  - . incubation à 30°C.
- dosage de l'azote nitrique par ionométrie (1).

c) Etude de l'influence du précédent cultural du Blé sur l'azote minéralisable/

Une étude, réalisée par METIVIER (2), en 1975, a porté sur la comparaison de deux précédents du Blé dans les séquences culturales suivantes :

- 1 - Mais-Blé-Betterave-Blé
- 2 - Mais-Blé-Mais-Blé (essai n°5)

Afin de rechercher les différences pouvant se manifester dans la minéralisation de l'azote organique, sous la culture de Blé, deux prélèvements ont été effectués les 28 février et 26 mars, pendant le tallage, lorsque la végétation commence à extérioriser les effets résiduels des précédents. Les échantillons ont été prélevés d'une part dans la couche superficielle (0-10 cm), et d'autre part, dans le fond de la couche arable (10-25 cm).

Les résultats présentés dans le tableau 66, correspondent à des parcelles de Blé recevant une fumure azotée normale (60 u/ha au tallage + 60 u/ha à la montaison).

- (1) dosage effectué au Laboratoire de Science du sol de l'I.N.A. P.G.
- (2) élève-ingénieur de l'I.N.A. P.G. ayant collaboré à nos travaux.

Pour les deux échantillons successifs, la quantité d'azote nitrique minéralisée pendant 15 jours d'incubation, ne diffère pas significativement entre les deux précédents du Blé. La profondeur du prélèvement est sans influence sur les résultats. Compte-tenu de la localisation des résidus de culture vers le fond de la couche labourée, on constate qu'à cette époque, l'effet des produits végétaux incorporés au sol n'est pas aussi différencié que pourrait le laisser supposer leur composition chimique respective. La durée de la période d'incubation ne semble pas devoir être mise en cause pour expliquer ce résultat, puisque (sur le premier prélèvement), celui-ci est corroboré par des dosages effectués après 4 semaines d'incubation.

Remarque : L'étude d'échantillons de végétation, récoltés au cours de la période considérée (10/03, avant l'épandage d'azote), montre qu'entre temps, les organes aériens du Blé réagissent de façon différente aux deux antécédents. La masse de matière sèche de ces organes et la quantité d'azote qu'elle contient sont supérieures dans le Blé suivant la Betterave :

	M.S. (en g/m <sup>2</sup> )	azote (en g/m <sup>2</sup> )
Blé derrière Betterave	55.5	2.7
Blé derrière Maïs	50.9	1.9

Entre les deux dates d'échantillonnage, la quantité d'azote minéralisable diminue significativement ( $P=0.01$ ) de 58 à 49 ppm. (ce qui correspond à près de 30 kg d'azote par hectare). Dans l'intervalle, un épandage de 60 kg d'azote par hectare a été effectué (11/03). Compte-tenu de la faible quantité de cet élément prélevée par les plantes au cours du mois de mars, et en dépit de la légère augmentation de la quantité initiale d'azote minéral (+ 20 kg/ha), il apparaît que l'équivalent de la dose apportée par l'engrais s'est trouvée réorganisée.

d) Influence de différentes séquences culturales sur la quantité d'azote minéralisable.

A terme les effet cumulés des cultures et de leurs restitutions organiques sont susceptibles de modifier quantitativement, et peut être qualitativement, la matière organique du sol, en raison des différents groupes microbiens dont ils favorisent, ou non, l'activité. Pour mettre en évidence l'amplitude de ces phénomènes sur la minéralisation de l'azote, une expérience de minéralisation a été réalisée sur des échantillons de sol provenant de parcelles expérimentales ayant porté des successions de cultures diversifiées. Ces parcelles ont été évoquées

précédemment à propos de la teneur du sol en carbone total et en azote total. Cette étude, certes indicative en raison des différences existant (soles, année d'implantation des essais), a pour objet d'apprécier les conséquences de la monoculture du Blé, en l'absence de restitution des pailles, sur la capacité de minéralisation de l'azote organique du sol (cf. tableau 67).

En ce qui concerne l'azote nitrique avant l'incubation, dosé sur la terre séchée à l'air, il présente des différences importantes dues, non seulement au passé cultural de la parcelle, et aux conditions climatiques, mais aussi à l'état structural du sol à cette époque.

Des comparaisons intéressantes sont possibles entre certaines séquence culturales, à l'intérieur d'un même essai :

- entre les deux rotations comportant le Maïs seul, ou le Maïs et la Betterave comme précédents du Blé, les teneurs en azote nitrique du sol restent identiques. Il faut cependant souligner que le sol a été prélevé sous le Blé d'automne, dont le système racinaire, à cette époque, explore la couche labourée et absorbe l'azote nitrique au fur et à mesure de sa libération.

- Par contre dans l'essai implanté en 1965, les parcelles emblavées en Blé de printemps, qui ont porté une prairie à base de Luzerne deux ans auparavant, présentent un taux moyen d'azote nitrique légèrement supérieur à celui des parcelles en rotation triennale.

#### Azote minéralisable après 15 jours et 30 jours d'incubation

La quantité d'azote nitrique libérée après 15 jours d'incubation par les sols ayant porté ces diverses séquences culturales, ne présente pas une grande variabilité. La prairie temporaire, et la rotation triennale d'une part, et les précédents Maïs ou Betterave, d'autre part, ne modifient pas sensiblement la minéralisation de l'azote, du moins dans des prélèvements effectués à cette époque. Les résultats obtenus après un mois d'incubation en apportent la confirmation. Par ailleurs on constate que, par rapport à des rotations, où à des monocultures, incluant des espèces favorables à la fertilité du sol, la pratique de la culture continue du Blé n'a pas altéré la capacité minéralisatrice de l'azote.

Si l'on considère la somme de l'azote nitrique avant incubation et de l'azote minéralisable, et cela pour les deux périodes choisies, on obtient un critère relativement indépendant de la date de prélèvement (DROUINEAU et LEFEVRE, 1949), et il est alors possible de distinguer deux groupes de successions :

- la rotation incluant trois années de Luzerne-Dactyle et la monoculture de Pomme de terre, qui sont les plus favorables, mais dont l'effet sur la minéralisation pourrait se manifester plus tôt dans la saison. Les différences de couverture végétale risquent également d'influer sur ces résultats.

- les autres successions culturales sont, vis-à-vis du critère étudié, sensiblement équivalentes, ce qui, compte-tenu de la diversité des espèces, et du régime d'entretien organique, tendrait à montrer que la technique d'étude met surtout en évidence une propriété permanente du sol, étroitement liée à sa teneur en matière organique.

A ce stade de l'investigation, on pouvait penser que la méthode d'étude manque de sensibilité pour détecter des différences de minéralisation peut être trop faibles, puisque dues à des apports annuels de matière organique (en M.S.), qui sont par exemple, de l'ordre de 3 tonnes/ha pour la Betterave, et de 5 tonnes/ha pour le Maïs, alors que la quantité de matière organique dans la souche arable peut être estimée à 75 tonnes pour le sol considéré.

Pour tenter d'expliquer ces résultats, une expérience in vitro a été réalisée, dans laquelle des résidus culturaux sont incorporés à des échantillons de sol, juste avant la mise à l'étuve, et cela dans une proportion analogue à celle observée pratiquement.

e) Etude in vitro de l'influence de diverses restitutions organiques sur l'azote minéralisable, en fonction du passé cultural du sol.

Au vu des résultats précédents, certains aspects de l'incidence des successions de cultures sur la capacité minéralisatrice de l'azote organique du sol devaient être précisées. D'après la méthode de l'azote minéralisable, l'effet de précédents directs comme celui de séquences culturales diversifiées du point de vue des espèces et des restitutions organiques, ne modifient pas sensiblement la quantité d'azote nitrique libérée, et sa vitesse de minéralisation.

Une expérience a été réalisée en vue de préciser l'effet de l'incorporation de divers déchets végétaux au sol sur la minéralisation de l'azote organique, et de rechercher si la minéralisation est alors conditionnée par les cultures pratiquées précédemment sur ce sol.

#### Méthode :

L'étude a porté sur un même type de sol, provenant de trois essais contigus :

- des parcelles en monoculture de Betterave fourragère (dont les verts et les collets sont systématiquement enfouis), depuis 1968.
- des parcelles en monoculture de Blé d'hiver (pailles exportées) depuis 1967.
- des parcelles en monoculture de Maïs (tiges enfouies) depuis 1962.

Des prélèvements <sup>de</sup> sol ont été effectués le 30 avril 1975, à raison de quatre sondages élémentaires (jusqu'à 25 cm de profondeur) par parcelle, et mélangés, lors du tamisage à sec, en vue d'obtenir des échantillons moyens pour chacun des trois essais, quatre répétitions correspondaient aux blocs des dispositifs.

L'expérience de minéralisation en étuve, a porté, d'une part, sur cette série d'échantillons sans aucun apport organique, selon la technique déjà décrite, et d'autre part, sur cette même série de sols après incorporation de divers résidus végétaux finement broyés. Les résidus végétaux provenaient des trois espèces maintenues en monoculture :

- feuilles et collets de Betteraves, lyophilisés avant broyage,
- pailles de Blé séchés à l'air.
- tiges, spathes et rachis de Maïs, séchés à l'air.

Ces divers déchets végétaux ont été mélangés à trois séries d'échantillon de sol, à raison de 25 mg de matière sèche pour 20 g de terre fine sèche. Ce rapport de masse permet d'approcher celui qui résulte, pratiquement de l'enfouissement des restitutions organiques des trois cultures dans la couche arable. En aucun cas, il a été procédé à un apport d'azote minéral. Une expérience préliminaire ayant permis de vérifier que la masse de matière organique enfouie, si elle influe directement sur la quantité d'azote minéralisable, ne modifie pas la forme de la courbe de minéralisation, et cela, pour des doses allant de 0 jusqu'à 50 mg pour 20 g de sol.

#### Résultats

Cette expérience, destinée à mettre en évidence l'évolution de la capacité de minéralisation de l'azote organique du sol sous différentes successions culturales, montre tout d'abord, qu'un régime céréalier intensif à base de Maïs ou de Blé n'altère pas cette potentialité par rapport à la culture répétée d'une plante reconnue comme "améliorante", telle que la Betterave. En effet, en l'absence d'incorporation de matière organique avant l'incubation, on obtient, après Blé ou Maïs, des

quantités d'azote minéralisable supérieures ou égales à celles mesurées après la monoculture de Betterave (tableau 68).

Après 15 jours d'incubation aucune différence apparaît entre les trois successions culturales. La minéralisation est à terme, plus importante dans le sol ayant porté une monoculture de Blé, comme on peut le constater dans les résultats de l'azote minéralisable après 3 mois d'incubation. Cette différence de minéralisation semble devoir être imputée à la destination des résidus culturaux, puisque dans le cas de la monoculture de Blé, les pailles sont toujours exportées, et, qu'au contraire, les tiges de Maïs sont restituées au sol. Par ailleurs, il ne se manifeste pas de différences à la suite de l'incorporation systématique des verts de Betterave, et des tiges de Maïs.

L'effet des matières organiques mélangées aux sols avant l'incubation se manifeste de façon évidente. On retrouve le phénomène d'immobilisation de l'azote consécutif à l'incorporation au sol de résidus ayant un rapport C/N élevé (pailles de Blé et tiges de Maïs). Ce phénomène a lieu, dans l'expérience, au cours des deux premières semaines d'incubation. Il se traduit, après ce délai, par la fixation d'environ 15 ppm, (par rapport au témoin), avec un taux d'immobilisation de l'azote nitrique, vis-à-vis de la masse de matière sèche végétale enfouie, de 12 %. Au delà de cette période, le phénomène est pratiquement terminé, et les courbes de minéralisation de ces sols sont parallèles à celle des sols témoin n'ayant pas reçu d'apport de pailles.

Dans le cas d'un apport de verts de Betterave, on retrouve une minéralisation supplémentaire d'azote, due à ces déchets végétaux ayant un rapport C/N faible. Après trois mois d'incubation, la minéralisation nette de l'azote des verts correspond à 30 ppm, soit à un taux de libération, par rapport à la masse de matière sèche végétale enfouie de 24 %. Il est probable qu'à ce terme, le phénomène de minéralisation ne soit pas terminé. Si l'on considère la vitesse de libération nette de l'azote de ce type de matière organique (9 ppm après 15 jours, et 21 ppm entre 15 j. et 3 mois) il apparaît que la relation entre la quantité libérée et le temps d'incubation est moins que proportionnelle.

En ce qui concerne l'incidence de l'enfouissement des diverses matières organiques, en fonction de l'histoire culturale des sols, l'expérience de minéralisation ne permet pas d'affirmer qu'elle diffère entre les trois successions culturales considérées, puisque, pour les deux périodes successives (0-15 j.) et (15 j.-3 mois) l'interaction n'est pas significa-

tive. Une tendance serait cependant à préciser, selon laquelle l'effet des verts de Betterave se manifesterait de façon précoce, dans le sol ayant porté une monoculture de Blé, sans restitutions des pailles, par rapport au sol de la monoculture de Maïs avec enfouissement des tiges.

### Conclusion

Ce test biologique montre que le passé cultural des parcelles n'entraîne pas de modifications importantes de la capacité de minéralisation de l'azote organique du sol. Même lorsqu'il s'agit de monocultures aussi différentes que celle de la Betterave, du Blé ou du Maïs. L'incidence, à terme, de l'incorporation de résidus organique ayant un apport C/N élevé semble être plus importante dans ce type de sol. Le fait de ne pas restituer les pailles en monoculture de Blé pourrait être à l'origine de la légère augmentation de la minéralisation mise en évidence. Ceci tendrait à montrer que, dans nos conditions, il ne se manifesterait pas de restitutions, et se traduisant par une réduction du taux de minéralisation de l'azote organique (quoique par ailleurs le taux de matière organique du sol ne diminue pas sensiblement).

Les apports de matières organiques avant la mise à l'étuve ont des effets marqués ; les verts de Betterave donnent lieu à une minéralisation supplémentaire devant se poursuivre au-delà de trois mois, et équivalant, à ce terme, à près de 39 kg d'azote par hectare. On retrouve dans l'expérience, un phénomène d'immobilisation de l'azote consécutif à l'incorporation des pailles de Blé et des tiges de Maïs, qui ne se manifeste pas sensiblement au champ. Au-delà de 15 jours d'incubation le processus est achevé, au moins dans le cas des tiges de Maïs. La tendance constatée entre les résidus des deux espèces pouvant s'expliquer par leur teneur respective en azote total (Maïs : 0,88 % de la matière sèche et Blé : 0,64 %).

L'absence d'interaction, entre les diverses matières organiques incorporées aux sols et le passé cultural de ceux-ci, tend à montrer qu'il n'y aurait pas de spécialisation difficilement réversible de la microflore du sol sous l'effet de la monoculture.

D - Influence de la monoculture sur les parasites telluriques du Blé.

Il ressort de nos expériences sur la monoculture du Blé, et d'ailleurs de l'ensemble des essais de techniques culturales poursuivis à la Station du S.E.I. de Grignon, que les problèmes phytosanitaires dus, en particulier, aux champignons pathogènes et aux nématodes phytophages, restent dans nos conditions pédo-climatiques assez limités. A tel point que la culture répétée d'une espèce-hôte, sur des périodes dépassant la décennie, n'induit pas de modifications importantes de l'état sanitaire des cultures.

Il n'en est pourtant pas toujours ainsi dans d'autres conditions de milieu, comme le montre la littérature spécialisée des disciplines phytosanitaires. Il nous apparaît donc nécessaire, pour replacer les résultats de nos expériences dans un contexte plus général, de faire état d'un certain nombre de travaux réalisés sur ce même thème.

┌-----┐  
└ Les champignons pathogènes ─┘  
└-----┘

1 - Système de culture et type de maladie

Seules certaines maladies du Blé peuvent être, en fonction des caractéristiques de conservation et de dissémination de leurs agents, directement influencées par la succession des cultures. Il s'agit de maladies endémiques, pouvant, à l'occasion de conditions climatiques favorables, revêtir un caractère épidémique (RAPILLY, 1973). Les agents pathogènes responsables ont un pouvoir disséminateur réduit, nul dans le cas des "habitants du sol", et atteignant quelques dizaines de mètres pour les parasites disséminés par la pluie (PONCHET, 1959 ; RAPILLY, 1975).

Pratiquement la succession des cultures et l'assolement sont, bien sûr, indissociables, aussi l'extension de parasites ayant de grandes possibilités de dissémination (JOHANSEN et al., 1973), comme par exemple Puccinia striiformis ou Erysiphe graminis, risque t-elle d'être influencée par l'accroissement de la surface emblavée par les espèces-hôte. De plus, les antécédents culturaux peuvent avoir un effet indirect sur la gravité des dégâts d'E. graminis (PARMENTIER, 1974). On conçoit donc que les résultats expérimentaux dépendent de leur environnement cultural, et que leur extrapolation implique des études complémentaires portant sur une échelle plus vaste.

## 2 - Localisation des maladies favorisées par la monoculture du Blé en fonction des conditions de milieu.

Parmi les agents responsables des maladies du Blé, généralement évoquées comme étant favorisées par la simplification des successions de cultures, figurent principalement Ophiobolus graminis et Cercospora herpotrichoides, ainsi que Fusarium roseum et Septoria nodorum. D'après RAPILLY (1973) et CASSINI (1973), la spécialisation de certaines régions vers la céréaliculture se traduit par un changement dans l'importance relative de ces parasites.

Il semble actuellement difficile de relier avec précision la présence des champignons pathogènes à des facteurs abiotiques ou à des zones climatiques. En France, C. herpotrichoides est présent dans la moitié nord du pays, on la rencontre aussi dans la région sud-ouest. D'après les observations de GINDRAT et VEZ (1973), en Suisse, le parasite se manifeste surtout dans les terres argileuses. La maladie du piétin-échaudage, provoquée par O. graminis est toujours plus importante dans les sols à faible teneur en argile (BUTLER, 1961 ; COOK et al., 1968). Elle provoque aussi des attaques graves dans des sols argilo-limoneux (CASSINI et al., 1976). Son incidence s'accroît lorsque la fertilité diminue, ou lorsque le pH du sol est relevé (GARRETT, 1942 ; PONCHET et COPPENET, 1962), ou, d'une façon générale, lorsque l'équilibre biologique du sol est brutalement modifié (LEMAIRE et COPPENET, 1968 ; GERLAGH, 1968 ; VAN DER SPEK et al., 1974). Le piétin échaudage est couramment observé dans la région Ouest de la France, en Champagne (BARLOY, 1976), mais on le rencontre également dans les limons du Bassin Parisien (FELIX, 1975, loc. cit.).

En Europe occidentale, les deux parasites se manifestent simultanément dans des régions variées (SLOPE et ETHERIDGE, 1971 ; VEZ et GINDRAT, 1973 ; SLOPE et al., 1973 ; DOUSSINAULT, 1976 ; LEMAIRES, 1976) ; souvent leur incidence montre une grande variabilité apparemment sans relation avec le type de sol (DIERCKX, 1975). La répartition des parasites telluriques est donc extrêmement vaste ; le niveau de leur inoculum dépend de différentes caractéristiques du milieu :

- d'une part, du passé cultural des parcelles et de la rapidité de dégradation des résidus de récolte (et donc de l'activité biologique du sol),  
- d'autre part, des conditions climatiques. Leur influence est bien connue vis-à-vis du développement du piétin-verse. Les dégâts de cette ma-

ladies sont plus importants à la suite d'un hiver doux et humide (PONCHET, 1959 ; DOUSSINAULT, 1970). Mais l'importance des pertes de rendement dépend également des conditions climatiques pendant la formation des grains (MAENHOUT, 1975). L'influence du climat sur les autres parasites telluriques est aussi déterminante, comme le montrent les études spécialisées portant sur leur biologie et sur leur épidémiologie (BUTLER, 1961 ; CASSINI, 1966 ; COLHOUN, 1973, RAPILLY et al., 1973).

La connaissance des caractéristiques de ces agents pathogènes, de leurs conditions de conservation et de leur modalités de contamination, est nécessaire pour apprécier les risques respectifs qu'ils présentent dans le contexte des successions de culture. Malgré les nombreux travaux réalisés dans ce domaine par les phytopathologistes, les éléments analytiques sur l'écologie de ces champignons restent encore incomplets, et la synthèse se heurte à des difficultés dues à la méconnaissance de certaines interactions au sein de la biocénose. Par ailleurs, l'étude des conditions de milieu, et particulièrement des conditions climatiques qui favorisent les dégâts de ces maladies cryptogamiques, souligne leur manifestation épidémique, plus ou moins marquée selon les espèces. Ceci contribue à expliquer la variabilité des résultats obtenus dans les essais de rotations culturales, et que ceux-ci ne soient pas toujours reproductibles du point de vue de l'état sanitaire des cultures.

### 3 - Incidence des parasites cryptogamiques telluriques dans les successions céréalières.

#### a) Cercospora herpotrichoides

La fréquence des céréales dans la succession des cultures peut conditionner l'incidence du piétin-verse. Une enquête réalisée dans le sud-ouest des Pays-Bas de 1972 à 1974 met en évidence une relation entre la proportion de cultures non hôte dans la rotation, et la proportion de tiges attaquées par le parasite (VAN DER SPEK et al., 1974). Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par GLIEMEROTH et KUBLER (1973) en Allemagne. Cependant, les conditions de milieu et de conduite des cultures extrêmement variées, font qu'il est difficile de dégager un seuil à partir duquel la proportion de céréales dans la rotation entraînerait des risques de baisse de rendement (FISCHBECK et al., 1968 ; DIERCKS, 1972).

En ce qui concerne l'incidence du piétin-verse sur le rendement du Blé en monoculture, le parasite est l'un des principaux responsables des diminutions de rendement constatées, comme le prouvent les appréciations réalisées dans les conditions très variées (GLYNNE, 1954 ; VEZ, 1969 ; PEQUIGNOT et RECAMIER, 1961 ; VRKOC, 1974). Il est parfois difficile de faire la part des conditions climatiques de l'année sur l'importance des dégâts observés dans certaines expériences ; on ne peut donc pas toujours mettre en évidence l'effet de l'ancienneté de la monoculture. Un rapport relatif à des essais de monoculture de Blé d'hiver au Danemark (X, 1966) fait état d'une faible incidence du nombre de cultures précédentes de Blé sur la gravité de la maladie. Au contraire, à Rothamsted, à l'occasion d'années favorables au parasite, il a été mis en évidence une relation entre le pourcentage de tiges attaquées, et la diminution de rendement, sur les trois premiers Blés en culture continue (GLYNNE et al., 1954 ; SLOPE et al., 1973). Dans des expériences portant sur une séquence de monoculture plus longue, il peut apparaître que l'importance des attaques de C. herpotrichoides passe par un maximum après 3 à 5 années, puis s'atténue ultérieurement (DIERCKS et al., 1970). L'évolution du parasite en culture continue ne suivrait donc pas un processus cumulatif (DIERCKS, 1975).

b) Ophiobolus graminis

En réalité, O. graminis et C. herpotrichoides sont souvent favorisés simultanément par les successions de cultures céréalières dans les zones qui leurs sont communes (X, 1966 ; VEZ, 1969 ; DIERCKS et al., 1970 ; KONNECKE, 1970 ; SLOPE et al., 1973 ; VRKOC, 1974 ; JENSEN, 1975). De nombreuses investigations ont montré, qu'au cours des premières années de monoculture, l'attaque du parasite s'aggrave progressivement, avec une augmentation du nombre de pieds affectés et du poids de racines nécrosées par pied (GLYNNE, 1954 ; LEMAIRE et COPPENET, 1968 ; ETHERIDGE, 1969 ; SLOPE et al., 1971). Ces derniers auteurs ont observé des diminutions de rendement en Blé d'hiver atteignant 70 %. Cependant l'extension de la maladie reste étroitement conditionnée par l'histoire culturale de la parcelle (GLYNNE, 1965). Dans le cas de ce parasite, on a pu mettre en évidence l'existence d'une évolution caractéristique, au début de la culture répétée d'une espèce sensible (PONCHET et COPPENET, 1962). Alors que la première culture de Blé est peu contaminée, la seconde ou

la troisième subit des dégâts importants. Compte-tenu de l'inoculum initial, ce phénomène peut se manifester plus lentement. D'une façon générale, l'intensité de la maladie s'atténue par la suite, puis se stabilise si l'on poursuit la monoculture (SLOPE et COX, 1964 ; ETHERIDGE et SLOPE, 1967 ; SHIPTON, 1967 ; LESTER, 1969 ; DIERCKX et al., 1970). Ce phénomène se produit également en monoculture de céréales de printemps (SHIPTON, 1972). D'après cet auteur (1967) le déclin du piétin-échaudage est une conséquence naturelle de la monoculture, il implique qu'il y ait eu auparavant une attaque grave. Dans l'état actuel des connaissances il semble exister plusieurs causes possibles pour ce phénomène (WALKER, 1975), compte-tenu de la variabilité relative du délai précédant le déclin du parasite et de la gravité des attaques.

Le déclin du piétin-échaudage peut résulter du développement dans le sol d'une microflore antagoniste (SHIPTON, 1967 ; LEMAIRE et COPPENET, 1968). Une prolifération de bactéries et d'actinomycètes antagonistes d'O. graminis a pu être détectée dans des sols où la maladie regressait (BAKER et COOK, 1974). Le recul de la maladie ne s'expliquerait pas uniquement par le développement d'une microflore antagoniste, mais également par des modifications nutritionnelles dans la rhizosphère, ou à une réduction de la "pathogénicité" du champignon (BROADFOOT, 1933). Récemment des particules vi ales ont été isolées dans des souches d'O. graminis hypovirulentes, après déclin de la maladie (LEMAIRE et al., 1970) et ont permis de mettre au point une méthode de lutte biologique, de type pré-munition, par traitement des semences (LEMAIRE, 1976).

Dans ces diverses modalités ce phénomène de régression de la maladie particulièrement net dans le cas d'O. graminis est caractérisé par deux phases, l'une de déséquilibre au sein de l'agro-écosystème, sous l'effet des premières répétitions de la culture, l'autre correspondant à un équilibre du parasite par rapport aux autres éléments du système. Cette dernière phase ne peut pas se développer sous un régime d'alternance des espèces. Elle se traduit par des effets limités de la population parasite. L'intérêt des nombreux travaux ayant porté sur ce phénomène est d'avoir mis en évidence l'existence d'antagonismes susceptibles de conduire à un équilibre convenable. Ceci s'oppose radicalement au principe de la rotation visant à provoquer l'éradication du parasite, ou à la rigueur, à en contrôler le développement en espaçant dans le temps

la présence des espèces-hôte. Il n'en reste pas moins que la forte réduction de rendement survenant au cours des premières années de monoculture constitue, dans les zones d'élection du parasite, un obstacle à une telle pratique.

En conclusion, les deux champignons parasites, les plus fréquemment responsables de baisses de rendement en rotations céréalières sont O. graminis et C. herpotrichoides. Les autres maladies sont également signalées dans la bibliographie comme pouvant être favorisées en monoculture. C'est le cas de Septoria nodorum (DIERCKS, 1975) et de Fusarium sp. (SNYDER et NASH, 1968 ; POGORELOVA et al., 1973). En fonction des caractéristiques de milieu, ils peuvent être ou non associés et favorisés simultanément par la monoculture ; comme le souligne RAPILLY (1973), la formation d'un complexe parasitaire peut donner lieu à une interaction positive entre les différents agents pathogènes et donc à une aggravation des dégâts. Dans ce cas, il est difficile d'estimer directement la contribution de chacun d'entre-eux à la diminution de rendement. On peut cependant l'apprécier grâce à l'utilisation de traitements fongicides, puisque O. graminis en particulier n'y est pas sensible.

En ce qui concerne l'incidence de ces maladies sur le rendement de la céréale, il semble que les dégâts du C. herpotrichoides, peut-être plus soumis aux conditions climatiques, seraient moins directement influencés par la succession des cultures, que ne le seraient ceux d'O. graminis.

-----  
[ Les nématodes phytophages ]  
-----

Vis-à-vis de leur comportement spécifique en relation avec les rotations culturales, les caractéristiques les plus déterminantes concernent la gamme de leurs plantes-hôte, et leur persistance dans le sol. Actuellement les relations qui peuvent exister dans les communautés des nématodes phytoparasites restent assez mal connues, car différentes espèces coexistent dans le sol dans les mêmes niches écologiques (GOSTENBRINK, 1964). Plusieurs espèces provoquent des dégâts sur les céréales, dans le cas du Blé, les nématodes du système racinaire Pratylenchus sp., Meloidogyne naasi, et surtout Heterodera avenae sont à

l'origine des attaques les plus graves (CHOPPIN de JANVRY et al., 1971). Ditylenchus dipsaci ne cause pratiquement pas de dégâts sur le Blé (PERRET, 1971). En France, la nuisibilité de ces agents pathogènes a été surtout observée dans le cas de Meloidogyne naasi, dans le Centre-Ouest, et d'Heterodera avenae dans différentes régions, mais en particulier dans les sols légers (RIVOAL, 1973).

#### 1 - Fluctuation des peuplements de nématodes dans le sol.

Ces parasites sont caractérisés, dans leur ensemble, par leur aptitude à subsister dans les sols, même en l'absence de plantes-hôte, et par leur pouvoir de multiplication qui leur permet, en conditions favorables, de pulluler à brève échéance à partir d'un peuplement initial faible (CHOPPIN de JANVRY et al., 1971). La dynamique de leur peuplement fait l'objet de nombreux travaux destinés à rationaliser la succession des cultures afin de maintenir leur inoculum à un niveau inférieur à celui du seuil de nuisibilité (SEINHORST, 1970 ; HEIDE, 1975 ; RIVOAL, 1976). La possibilité de pouvoir apprécier, qualitativement et quantitativement, l'inoculum du sol, constitue en l'occurrence un avantage certain, par rapport aux autres agents pathogènes.

#### 2 - Problèmes posés par les nématodes en monoculture de Blé.

Le manque de stabilité de l'agro-écosystème en monoculture, consécutif à l'absence de variabilité intraspécifique, est, en général, particulièrement net vis-à-vis de l'évolution des peuplements de nématodes. Il se traduit par la réduction de ces peuplements aux quelques espèces favorisées par la plante cultivée (NUSBAUM et BARKER, 1971). Cependant l'aménagement du système de production, dans le sens d'une augmentation des restitutions humiques, serait de nature à diversifier les espèces (GOOD, 1968).

La pullulation des nématodes n'est pas uniquement signalée dans les monocultures de Blé. En culture continue d'Avoine, les risques d'infestation par Heterodera avenae sont élevés dans les zones favorables au parasite (COLLINGWOOD, 1962 ; FRANKE, 1962 ; GAIR et al., 1969), de même dans le cas de l'Orge (DAW, 1963 ; ALLEN et al., 1970).

Sauf dans les situations extrêmes, caractérisées par des dégâts importants, la contribution des nématodes à la diminution du rendement des céréales est difficile à apprécier, autrement que de manière indirecte, par les augmentations de rendement dues à des traitements nématicides (REINMUTH, 1970 ; SCHONROK-FISCHER et SCHWABE, 1973).

### 3 - Etat actuel des populations de nématodes dans les monocultures établies à Grignon.

En mai 1976, des échantillons de plantes et de sol\*, constitués à partir de prélèvements multiples, dans les essais de monocultures, et de rotations céréalières, ont été soumis à l'analyse nématologique auprès du Laboratoire du C.N.I.H. à Antibes. En plus des monocultures et des rotations céréalières, des monocultures de plantes sarclées (Bette-rave et Pomme de terre), établies dans les mêmes conditions de sol, ont été retenues en vue de déceler une éventuelle spécialisation des espèces sous la culture répétée d'une même plante.

L'époque de prélèvement choisie correspond à la fin de la moisson du Blé, c'est en effet lors de cette phase de développement, caractérisée par une production de matière sèche importante, que les conséquences de l'attaque des nématodes phytophages peuvent être manifestes, avec notamment une réduction du tallage et une nanification des plantes (RIVOAL, 1975).

L'examen de la végétation ne permettait pas au cours de cette campagne 1975-76, comme pour les campagnes précédentes, d'attribuer à ce phénomène une importance prédominante dans la réduction de rendement des Blés sur Blé. Si dans les Blés en monoculture, il y a effectivement un affaiblissement sensible du tallage, d'autres causes diverses (alimentation azotée, parasites cryptogamiques...) peuvent également en être à l'origine, en revanche, les symptômes extrêmes que sont les foyers de plantes naines, n'ont jamais été observés.

#### Résultats et discussion.

L'absence de répétition dans chaque situation culturale, et le fait que les différentes parcelles échantillonnées appartiennent à des dispositifs expérimentaux distincts, interdisent d'exploiter statistiquement ces résultats. Il apparaît cependant des tendances qui mériteraient d'être précisées.

Dans les sols cultivés continuellement en Blé, la population totale de nématodes semble être supérieure en nombre à celle des sols recevant sur une période équivalente des rotations incluant plusieurs espèces (tableau 69). Cette population apparaît plus faible en monoculture de Pomme de terre, par suite de la représentation réduite des phytophages. En moyenne, les populations de saprophages et de phytophages

\* Prélèvements de sol, jusqu'à 20 cm de profondeur.

sont sensiblement supérieures dans les monocultures de Blé, par rapport à celles dénombrées dans les rotations, et dans les successions céréalières pluri-spécifiques (dans la presque totalité des situations, les pailles de céréales sont systématiquement récoltées). Le stock important de matière organique des sols peut expliquer la faible variabilité des populations de saprophages ; il aurait pour effet de "tamponner" l'incidence de la succession des cultures (GOOD, 1968). Quant à la faible représentation des Mononchidés (prédateurs), elle est habituelle dans les sols cultivés (JENSEN et MULVEY, 1968).

Si, en général, la répétition de la culture d'une même plante-hôte est susceptible d'entraîner un accroissement de la population des Phytophages, dans le cas de ces expérimentations le phénomène est très peu marqué, puisque, d'une part, les Dorylaimidés mis en évidence ne sont pas pathogènes en grande culture, et que d'autre part, la nématofaune est pour l'ensemble des échantillons faible, à moyenne, en Tylenchidés (tableau 70). Sous la monoculture de Blé, le nombre des Phytophages est légèrement supérieur à celui des autres successions. Pour les deux espèces endoparasites, Pratylenchus thornei-minyus, et surtout Heterodera avenae, qui occasionnent les dégâts les plus importants en culture céréalière. Les taux d'infestation restent très faibles. Les autres Tylenchidés mis en évidence sont des genres à tendance fortement mycophage, et des ectoparasites stricts, fréquents en sols cultivés, et capables de produire des dégâts, uniquement en cas de forte pullulation. Les résultats du dénombrement des endoparasites dans les racines du Blé (bas du tableau 69) corroborent les conclusions précédentes. De plus, ils sont en accord avec un sondage effectué sur quelques échantillons issus des mêmes expériences, en juin 1974 (les analyses avaient été faites par le Laboratoire d'études nématologiques de l'I.N.R.A. à Rennes).

En conclusion, il ressort de ces résultats d'analyse que les nématofaunes décelées dans les échantillons provenant des monocultures de Blé, ou d'autres types de successions, ne sont pas susceptibles d'avoir une influence marquée sur les cultures. Ceci confirme les hypothèses avancées au vu de l'examen visuel des cultures, et la faible valorisation du traitement nématicide, testé en 1975. Dans nos conditions expérimentales, et pour les campagnes sur lesquelles portent l'étude, il nous est donc possible de considérer comme négligeable la contribution des nématodes phytophages à la diminution, somme toute limitée, du rendement en culture continue du Blé.

E - Influence de la monoculture sur la flore adventice.

Le milieu cultivé peut être caractérisé par un potentiel d'infestation qui est fonction des conditions de milieu, du climat, du sol et de l'histoire culturale ; il peut être caractérisé par l'étude du potentiel de graines du sol (BRENCHLEY et al., 1930 ; BARRALIS, 1973).

1 - Adventices associées à la culture.

La population d'adventices d'une culture n'apparaît pas comme étant l'image du stock de semences présent dans le sol. En fonction de l'écologie des mauvaises herbes, une sélection est en premier lieu effectuée par le travail profond du sol, puis par les façons superficielles dont les effets sont variables selon leur nature et leur date de réalisation. Au cours de la phase végétative du Blé d'hiver, un certain nombre d'espèces apparaissent de façon échelonnée en fonction des "exigences" de germination de leurs semences. La compétition qu'elles exercent sur la culture, surtout pendant la montaison, et les réductions de rendement en grain qu'elles peuvent occasionner sont très variables (BARRALIS, 1969). En raison de leur phénologie des espèces monocotylédones annuelles, comme Avena fatua, Alopecurus myosuroides ou vivaces, comme Agropyrum repens, Cynodon dactylon, Agrostis gigantea, sont, dans de nombreuses régions, des adventices redoutables des cultures de Blé.

2 - Sélection de la flore adventice en relation avec la succession des cultures et le programme de désherbage.

Lorsque traditionnellement la lutte contre les mauvaises herbes associait les rotations culturales, où alternaient les plantes "nettoyantes" (sarclées), les plantes "étouffantes" et les plantes "salissantes", et les opérations de désherbage mécaniques au cours de la végétation de la plante cultivée ou lors des périodes d'interculture, un certain équilibre était maintenu au sein de peuplements diversifiés.

Par suite de l'utilisation systématique de traitements chimiques, et de la modification marquée des assolements dans les régions céréalières, les problèmes de désherbage se posent en termes différents. Parmi la flore adventice, les espèces favorisées par la succession culturale, et sur lesquelles le contrôle par les traitements chimiques n'est pas assuré, connaissent un développement plus important et leur concurrence devient primordiale.

Le spectre d'action des matières actives, et les conditions de réalisation des traitements, déterminent une sélection parmi les mauvaises herbes. Ainsi, les plantes à germination tardive peuvent se développer après la dissipation des effets des produits rémanents. Il en est de même des plantes survivantes. Sur ces dernières un phénomène de compensation peut se manifester par un développement important et par une meilleure fertilité (MULLVERSTEDT, 1962).

Au fur et à mesure de son évolution, le contrôle de la flore adventice devient d'autant plus difficile que les caractéristiques botaniques des mauvaises herbes sont plus proches de celles de l'espèce cultivée.

Dans une succession culturale pluri-spécifique, la composition de la population des mauvaises herbes n'évolue que lentement (BARRALIS, 1965). Des observations effectuées en France (LONGCHAMP et al., 1965) ont mis en évidence un développement différentiel des espèces résistantes aux phytohormones de synthèse (2.4.D. et MCPA), en particulier des graminées : Avena fatua, Alopecurus agrestis et des dicotylédones : Galium aparine, Polygonum persicaria, P. aviculare. Cette évolution n'est pas toujours aussi marquée (Mc DURDY et MOLBERG, 1974) étant donné que le stock de semences du sol et le système de culture semblent être aussi déterminants que le programme de désherbage.

### 3 - Désherbage et précédent cultural.

La culture précédente, par ses caractéristiques culturales, particulièrement par son mode de désherbage et sa période de récolte, est souvent déterminante vis-à-vis de l'état de propreté de la parcelle. La rémanence des désherbants utilisés peut également conditionner le choix de la culture suivante.

La lenteur du processus de dégradation de certaines matières actives dans le sol est à même d'entraîner des accidents culturaux dans des situations particulières. L'atrazine appliquée sur Maïs (COUVREUR et al., 1975), l'éthofumésate sur Betterave (NABER et al., 1975) présentent à cet égard des risques vis-à-vis de la culture de Blé subséquente. Les risques peuvent être en partie prévisibles, compte tenu de la dose de traitement et des caractéristiques du sol, mais les conditions climatiques de la campagne sont souvent déterminantes. De plus, la réduction du travail du sol accentue la gravité des dégâts sur Blé à la suite d'un hiver sec (HUET, 1975 b).

La rémanence des matières actives utilisées sur le Blé est en général faible. Le pichlorame est l'une de celles qui se dégradent le plus lentement ; les urées substituées présentent une rémanence de l'ordre de quelques mois.

#### 4 - Monoculture et évolution de la flore adventice.

De nombreuses expériences et observations témoignent de la réalité des risques provoqués par la culture continue du Blé, particulièrement dans les zones céréalières européennes. Bien que l'absence de protocole adapté à l'étude de ce phénomène précis, et que les difficultés d'établissement de relations quantifiées, rendent souvent impossible l'appréciation de la compétition due aux mauvaises herbes, il apparaît que, dans un grand nombre de cas elle est tenue pour l'une des causes principales de la diminution du rendement observée en monoculture.

D'une façon générale, DIERCKS (1972), JACOB (1973) en Allemagne Fédérale, MUNDY et al. (1974) en Grande-Bretagne, BEREMSKI (1974) en Bulgarie replacent les problèmes posés par les adventices parmi les autres phénomènes (parasitisme animal et végétal) accentués par l'intensification céréalière.

Le chiendent (Agropyrum repens) est incontestablement la mauvaise herbe dont l'envahissement est le plus fréquent dans les soles en monoculture de Blé (SOGN et al., 1967 ; MILIC ; KAMPF, 1972 ; RECAMIER, 1973), mais d'autres espèces peuvent être favorisées au point de compromettre le maintien du rendement, en particulier Agrostis gigantea (STUANES, 1972), Alopecurus myosuroides (KOCH, 1964), etc....

Le délai de prolifération des adventices peut être assez bref, mais compte tenu de la variabilité du passé cultural des zones agricoles et de la diversité des techniques culturales, il reste difficile à préciser.

#### 5 - Possibilités de contrôle de la flore adventice en monoculture de Blé.

Les expériences récentes montrent que, grâce à l'utilisation de nouvelles matières actives, l'infestation des adventices apparaît de plus en plus rarement comme un facteur prohibitif de la monoculture céréalière. La lutte chimique contre Agropyrum repens a particulière-

ment progressé au cours de ces dernières années (LESCAR, 1973 ; de GOURNAY et al., 1973), grâce à l'association d'aminotriazole et de thiocyanate d'ammonium, et surtout grâce au glyphosate (non rémanent). Le contrôle des autres graminées adventices peut, en général, être correctement assuré avec la gamme actuelle des désherbants (MAYNADIER et al., 1973 ; BENADA et al., 1974 ; BRESLIN, 1975). Dans certaines régions, il subsiste cependant des problèmes difficiles à résoudre (FAIVRE-DUPAIGRE, 1976).

#### 6 - Contrôle des adventices dans les essais de monoculture de Grignon.

Dans le cas de nos essais à Grignon, l'infestation par le chien-dent (A. repens) fut l'une des causes du plafonnement du rendement du Blé, en monoculture de longue durée (RECAMIER et al., 1974). Les diverses méthodes de lutte utilisées en grande culture, (déchaumage et désherbants chimiques) sont régulièrement utilisées pour contrôler cette adventice. De façon à éliminer ce facteur limitant, la plupart des essais de monoculture ont reçu régulièrement, depuis six ans des traitements à base d'aminotriazole. Leur efficacité, en général, a permis de freiner l'extension de l'adventice, mais elle n'a pas entraîné une réduction sensible de son peuplement. L'application de glyphosate en automne 1976 devrait permettre d'obtenir une régression plus marquée du chiendent.

En monoculture de longue durée, la flore adventice présente une composition caractéristique sensiblement différente des soles voisines. Le programme de désherbage, incluant régulièrement des colorants nitrés (DNOC) et des phytohormones (24 D ou MCPA), a sélectionné une flore où figurent principalement G. aparine, V. hederæfolia, P. aviculare, V. tricolor et C. arvensis parmi les dicotylédones. Outre A. repens, Alopecurus agrestis et Avena fatua sont les graminées rencontrées. Même dans cette situation extrême, le désherbage chimique a permis de contrôler l'infestation par les adventices, grâce à la diversification, lors de ces dernières années des matières actives utilisées (chlortoluron + Mecoprop contre A. fatua, et Dinoterbe + Mecoprop contre les dicotylédones signalées précédemment).

#### 7 - Conclusion.

La succession des cultures et l'utilisation des désherbants chimiques provoquent une évolution de la flore adventice caractérisée par

la sélection de certaines espèces. La spécialisation et l'intensification culturales apparaissent de ce point de vue prépondérantes. La gamme des désherbants s'est progressivement complétée et a permis de rendre possible l'élimination d'une partie des contraintes liées à la succession culturale. Certains risques restent cependant difficiles à apprécier, en particulier sur l'évolution future de la flore adventice sous l'effet d'une spécialisation poussée, et sur les déviations génétiques de biotypes par suite de l'application répétée d'une même matière active (GRIGNAC, 1975).

## II - ESSAI DE SYNTHÈSE.

### 1 - Evolution des Agro-écosystèmes.

Originellement l'intervention humaine sur les végétaux se limitait à la récolte des organes consommables, et ne modifiait donc qu'assez peu les équilibres de l'écosystème naturel. L'évolution de l'Agriculture s'est traduite par la mise au point de techniques de cultures, de plus en plus perfectionnées, par l'association d'espèces choisies de façon empirique, puis par la culture d'une seule espèce, d'une seule population, et enfin d'un seul cultivar. Cette évolution est marquée par une "artificialisation" de l'agro-écosystème, de plus en plus poussée.

Simultanément le système de culture s'est modifié, notamment avec l'apparition de successions culturales incluant de nombreuses productions, ce qui était justifié par le contexte socio-économique. Depuis quelques dizaines d'années, l'évolution de la production agricole, dans les pays développés, se poursuit de façon sensible, surtout dans les zones spécialisées de grande culture intensive, avec une tendance marquée vers la monoculture.

On pourrait aisément jalonner cette évolution par les découvertes scientifiques et techniques, qui ont abouti à une augmentation considérable des investissements en approvisionnements de toutes sortes (énergie, produits chimiques, semences...), et à la nécessité d'interventions humaines relevant d'une technicité accrue.

Il ressort de cette évolution de la production agricole, une loi générale, que l'on peut caractériser par la suppression de facteurs limitants de l'agro-écosystème, grâce à la mise en jeu de nouvelles interventions humaines de plus en plus spécialisées. Cette loi se vérifie à l'heure actuelle, comme nous l'avons évoqué précédemment, par exemple :

- avec la découverte de produits désherbants efficaces, en particulier contre les graminées adventices (annuelles ou vivaces),
- avec l'utilisation de fongicides systémiques, ou de contact, contre certaines maladies cryptogamiques,
- et avec l'obtention de variétés plus productives, présentant des niveaux de résistance plus élevés aux agents pathogènes.

Le fait d'éliminer des facteurs limitants de l'agro-écosystème, permet non seulement d'obtenir une productivité technique supérieure, par l'augmentation des rendements et par leur régularisation, mais il entraîne de plus une remise en cause des contraintes du système de culture, et notamment de la rotation. Sur ce plan, l'évolution vers une simplification très poussée peut être caractérisée par une certaine régression de l'importance relative des effets résiduels des précédents culturaux, face à l'incidence des interventions humaines (directes ou indirectes). Ainsi par exemple, la maîtrise de l'alimentation azotée du Blé par l'application d'azote minéral a grandement contribué à réduire les différences entre précédents culturaux. En l'occurrence, la maîtrise de ce facteur prépondérant des effets résiduels, a eu pour effet de modifier la hiérarchie de ceux qui apparaissaient initialement comme secondaire ; ce processus tend à s'accroître davantage du fait de l'évolution corrélative des systèmes de culture. Actuellement, les problèmes posés par les agents pathogènes et, dans certains cas par les adventices, constituent la préoccupation principale des services de recherche, et ils justifient pratiquement à eux seuls (avec le traditionnel souci de répartir les risques sur plusieurs spéculations) le maintien d'une rotation portant sur un minimum de cultures. Les progrès considérables qui restent à réaliser pour obtenir un contrôle correct et régulier des organismes pathogènes pouvant affecter gravement le rendement des successions céréalières, sont dus en grande partie à la complexité des relations qui les lient aux autres éléments de l'agro-écosystème. Si les problèmes sanitaires sont actuellement considérés comme prioritaires vis-à-vis d'un système de culture pour le Blé, et pour d'autres céréales, ceci peut être dû au fait qu'il se manifeste souvent brutalement et à brève échéance. Les autres modifications de l'agro-écosystème, notamment celles affectant les caractéristiques physico-chimiques, évoluent de façon beaucoup plus lentes, (mais sont en revanche plus difficilement réversibles) et de plus les détériorations du potentiel de fertilité sont relativement prévisibles.

Après avoir brièvement montré comment ont évolué l'importance relative et la nature des effets résiduels au fur et à mesure que se transformaient les systèmes de culture, il semble important de proposer une "représentation systémique" des résultats et des faits qui ont été développés précédemment.

## 2 - Représentation systémique de l'agro-écosystème.

### a) Définition.

Selon la modélisation proposée par DEMARLY (1975 et 1976), la situation d'un écosystème, à un instant donné, peut être représentée dans un espace topologique engendré par des paramètres du milieu, et par le temps. Ces paramètres biologiques faisant partie de ce système d'axes, possèdent une fonction de répartition, dont le temps est l'une des variables ; ils peuvent, en outre, être interdépendants (figure 36).

Les variations de la situation biologique sont dues à l'ensemble des forces qui s'exercent à chaque instant sur les paramètres, et qui en constituent les "attracteurs". Ces forces résultent de l'interaction entre les états internes du système (variations interdépendantes des paramètres régies par leur cinétique respective), et des contraintes de l'environnement.

Chaque situation, en fonction du champ de forces auquel elle est soumise, décrit une trajectoire privilégiée parmi l'ensemble des trajectoires possibles. L'évolution de la situation parmi celles-ci dépend de l'opposition des attracteurs à un moment donné. La stabilité statistique apparente de la trajectoire suivie recouvre en réalité des états biologiques animés de variations oscillatoires imprimées par la cinétique des paramètres, et par leurs interactions.

Le champ de force définit une structure au sein des trajectoires possibles, constituée par des bassins d'attraction. Chacun d'entre eux présente une trajectoire idéale ("idéotype") qui à tout instant présente la meilleure stabilité au sein des attracteurs.

La charge biologique (l) peut être définie pour chaque situation instantanée (s) par rapport à la situation idéale correspondante ( $s_i$ ), comme :

$$l = \frac{s - s_i}{s_i}$$

A un instant donné, la situation (s) tend à se rapprocher de l'idéotype ( $s_i$ ) et ainsi à annuler sa charge (3ème principe de biodynamique - DEMARLY, 1975).

b) Application à l'agro-écosystème.

La présentation générale qui précède peut s'appliquer aux différents niveaux que l'on peut distinguer dans l'agro-écosystème, par exemple :

- l'individu génétique
- le peuplement végétal
- l'agro-écosystème dans son ensemble

Ces niveaux correspondent à des espaces emboîtés (le niveau supérieur constituant l'environnement du niveau inférieur), définis chacun par des paramètres significatifs.

. Au niveau de l'agro-écosystème.

Les principaux paramètres de ce niveau correspondent aux caractéristiques biologiques du milieu qui contribuent à définir son "aptitude culturale"

- la matière organique du sol
- l'activité des différents groupes fonctionnels de la microflore
- les compétiteurs (flore adventice, micro-flore et microfaune parasites)

Chacun des paramètres est affecté d'une cinétique particulière (cycle biologique propre à chaque espèce, par exemple).

Stabilité de l'agro-écosystème.

L'évolution biologique de l'agro-écosystème (c'est-à-dire la trajectoire résultant de la variation des paramètres, au cours du temps) est conditionnée par l'inertie du milieu. Les sols offrant des conditions favorables aux organismes vivants, en particulier par leur potentiel énergétique élevé, sont caractérisés par une pression interspécifique forte et présentent de nombreuses espèces faiblement représentées. Dans le cas des écosystèmes naturels, la variété des niches écologiques, incluant de nombreux organismes, avec des niveaux trophiques différents, est le principal facteur d'équilibre et d'homéostasie (LOOMIS et al., 1971 ; SPEDDING, 1971 ; BILIOTTI, 1975). C'est la multiplicité des interactions entre ces organismes, et pas seulement leur diversité et leur représentation, qui permet d'assurer la stabilité de l'écosystème (WILHEM, 1965). L'inertie biologique qui caractérise ces sols leur con-

fière, en particulier, une stabilité marquée vis-à-vis des modifications de la couverture végétale (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

Ceci semble devoir s'appliquer au cas des agro-écosystèmes, pour expliquer la faible incidence des successions culturales sur les caractéristiques biologiques, que nous avons constaté dans nos conditions expérimentales.

Les interactions dues au climat et notamment celles qui sont dues aux écarts par rapport aux normales climatiques, tendent également à contrôler les équilibres biologiques, ce qui au niveau de l'état sanitaire des cultures se traduit par la variabilité interannuelle de l'incidence et de la gravité des maladies. Ainsi dans nos régions, une période hivernale tempérée et pluvieuse favorise le développement du piétin-verse ; au contraire, une année sèche provoque en général les attaques de fusariose.

#### Evolution de l'agro-écosystème en régime de monoculture.

Les attracteurs sont d'une part, les caractéristiques climatiques et les diverses opérations culturales, et d'autre part, les interactions que déterminent ces causes d'origine externe, avec les états internes du système. L'exploitation d'une espèce cultivée avec l'ensemble des interventions qu'elle implique de la préparation du sol jusqu'à la récolte, mais aussi avec les effets propres du végétal (système racinaire, restitutions organiques), modifie les paramètres du milieu et donc la situation biologique du système.

Deux des principales caractéristiques des agro-écosystèmes dans le cas de successions de cultures annuelles sont la discontinuité et la périodicité ; avec la diversité des espèces composant les rotations culturales, elles contribuent à limiter la réduction de la charge biologique que l'on constate d'une façon générale en mettant en culture un écosystème naturel. A toutes les cultures conduites de façon classique sont associés un certain nombre d'attracteurs communs (travail du sol, fertilisation, ...) qui peuvent différer par leurs modalités de réalisation et revêtir ainsi des conséquences variées sur certains paramètres (époque de travail du sol sur la flore adventice par exemple). Mais l'alternance des autres attracteurs qui présentent une spécificité plus étroite (nature des restitutions organiques, désherbants chimiques, etc...) permet de maintenir une variance environnementale

(qui est de même nature que le carré de la charge) relativement élevée. Au niveau de l'agro-écosystème le régime de monoculture correspond à la répétition régulière des mêmes attracteurs d'une année sur l'autre (se traduisant par exemple, par le développement des seuls parasites de l'espèce cultivée, ou encore par celui d'une flore adventice spécialisée), il engendre une trajectoire oscillatoire de la situation biologique qui s'accompagne également d'une oscillation des charges. Selon le principe de résonance des charges (DEMARLY, 1976), tous les niveaux écologiques des situations vont tendre à s'adapter à cette périodicité, entraînant donc une spécialisation de tous les niveaux de l'environnement.

Cette spécialisation n'apparaît pas systématiquement sur les différents paramètres du milieu. Dans nos conditions expérimentales, par exemple, on n'a pas constaté de modifications importantes de l'activité ammonitrificatrice, de la nématofaune, du développement des parasites cryptogamiques, etc.... En plus de l'effet tampon du milieu, ceci peut s'expliquer par la nature des attracteurs, lesquels sont déterminés par des interactions mettant en jeu le climat. D'une année sur l'autre ces attracteurs peuvent présenter une variabilité (dans le temps, ou dans leur intensité) susceptible d'atténuer le caractère oscillatoire de la trajectoire que suit la situation biologique. L'irrégularité du développement des maladies du pied, d'une année sur l'autre, en est un exemple ; la contribution du climat, vis-à-vis des attracteurs influant sur le paramètre biologique correspondant à ce parasitisme, apparaît plus déterminante que celle due à la succession des cultures.

Par ailleurs au niveau de l'agro-écosystème, l'application d'une monoculture ménage une certaine diversité. L'alternance entre les phases de culture et d'interculture constitue une discontinuité à laquelle les différents niveaux écologiques peuvent être plus ou moins sensibles en fonction de leur cycle respectif. De ce point de vue, la flore adventice s'est sensiblement adaptée, dans nos essais, à cette discontinuité, et a nécessité des interventions spécialisées destinées à la contrôler.

En ce qui concerne la composition de la succession des cultures et les effets qu'elle exerce sur les paramètres du milieu, il semble que l'on puisse définir un seuil (par exemple, la proportion de culture

de Blé qu'elle comporte) au-delà duquel le système des attracteurs n'est plus sensiblement modifié. L'oscillation de la trajectoire, que l'on a évoqué dans le cas de la culture répétée d'une même espèce, est déjà susceptible de s'amorcer dans une rotation culturale comportant une majorité de cultures céréalières, avec cependant une période plus longue. Il est donc possible que le passage d'une telle rotation à une monoculture ne se traduise pas par des modifications sensibles des niveaux écologiques. Ainsi dans le cas des rotations biennales (Maïs-Blé), régulièrement appliquées dans les régions céréalières, l'effet de coupure que peut exercer pendant une seule année, le Maïs sur les parasites telluriques du Blé s'avérerait notoirement insuffisant pour éviter leur extension, si le pouvoir tampon du milieu n'y était pas important.

#### Effets des interventions culturales au sein de l'agro-écosystème.

En plus de leurs effets immédiats, sur la culture à laquelle elles s'appliquent, les interventions culturales peuvent avoir des conséquences, à plus long terme, sur l'évolution de l'agro-écosystème. Parmi les diverses interventions, toutes ne sont pas susceptibles d'avoir des influences aussi marquées, et aussi spécialisées, vis-à-vis des paramètres biologiques du milieu. Certaines d'entre elles sont capables de participer aux effets résiduels des cultures (désherbants rémanents par exemple). D'une façon générale, l'évolution des techniques a donné lieu à des interventions qui déterminent, au sein de l'agro-écosystème, des attracteurs souvent plus puissants que ne sont ceux résultant de la plante elle-même.

Dans une monoculture, l'examen des moyens permettant d'assurer la stabilité de l'agro-écosystème et de corriger les effets résiduels néfastes à l'espèce cultivée, montre que l'on peut considérer trois types d'interventions.

. Certaines opérations s'appliquent à la culture elle-même, et visent à compenser, ou à corriger, sur l'évolution du peuplement végétal, les effets résiduels des antécédents. Ce sont des interventions spécialisées (déterminant des attracteurs devant s'exercer dans l'axe de certains des paramètres biologiques, et à un "instant" donné), comme par exemple la fertilisation azotée, le choix d'un cultivar en fonction de sa résistance aux maladies cryptogamiques, ou encore l'application de traitements fongicides sur la végétation.

. D'autres interventions culturales ont pour conséquence de modifier les effets résiduels du précédent (destination de la paille, déchaumage et travail du sol, culture dérobée d'engrais vert).

. Le dernier type d'opération concerne les interventions chimiques destinées à supprimer des effets résiduels néfastes avant l'implantation de la culture (désherbant anti-chiendent et nématicide, par exemple).

Dans nos expériences, la répétition systématique de ces diverses interventions, d'une année sur l'autre (à l'exception du traitement nématicide), n'a pas encore donné lieu à une évolution marquée des différents niveaux biologiques du milieu. Cette voie de recherche, qui doit permettre de mettre en évidence les possibilités d'évolution des paramètres du milieu sous l'effet des systèmes de culture, a jusqu'à maintenant été surtout explorée en matière de fertilisation (minérale et organique), et, plus récemment, dans le cas des techniques simplifiées de travail du sol. Les conséquences de l'action répétée de traitements fongicides, ou celles de la culture continue d'un seul cultivar, sur les peuplements parasites restent à l'heure actuelle peu connues.

En conclusion, les modifications des paramètres biologiques de l'agro-écosystème, sous l'effet de la monoculture, dépendent surtout de la charge biologique initiale, qui caractérise le potentiel adaptatif de ce système. Face à l'évolution des différents niveaux biologiques que peut entraîner la monoculture, évolution qui est caractérisée par une réduction du polymorphisme et par une diminution de la stabilité, il est possible d'envisager des interventions culturales susceptibles de maintenir une certaine diversité. La lutte intégrée contre les agents pathogènes, associant des méthodes chimiques, génétiques et même biologiques, permet, par exemple, d'éviter la standardisation des interventions. En revanche la mise en oeuvre systématique d'interventions culturales relativement "brutales" accentue les risques de détérioration de la stabilité de l'agro-écosystème : leur action répétée tend à réduire les charges biologiques, et par le principe des résonances (DEMARLY, 1976) entre les différents niveaux, ces charges tombant sous un certain seuil peuvent permettre, par spécialisation, l'"explosion" de certains compétiteurs (parasites, adventices,...).

. Au niveau du peuplement végétal.

Les réactions du peuplement végétal ne sont pas directement liées à des modifications induites à terme par la culture répétée d'une même espèce, dans l'agro-écosystème. Les paramètres biologiques significatifs de ces deux niveaux sont différents, et les attracteurs influant sur la croissance et le développement du végétal sont des interactions entre les contraintes du milieu et l'état interne de celui-ci. Ainsi, par exemple, la pratique de la monoculture du Blé a entraîné la sélection d'une flore adventice spécialisée, mais au niveau du comportement de la céréale, cette évolution d'un paramètre du milieu est, dans nos conditions, négligeable puisque le programme de désherbage chimique permet d'éviter les phénomènes de compétition.

Au sein du peuplement végétal, on peut distinguer différents niveaux (individu, talle, épi, grain, ...), dont les états peuvent être caractérisés par des paramètres (nombre, dimension, état sanitaire des organes, par exemple). Dans l'étude du comportement du Blé, nous avons cherché, en considérant les composantes du rendement en grain, à déceler parmi ces niveaux, celui qui, chronologiquement, traduit le premier changement significatif, imputable aux effets résiduels des précédents culturaux. L'origine des modifications observables, par la suite, sur les niveaux inférieurs (emboîtés) est en général plus difficile à préciser, compte tenu des évolutions diverses auxquelles peut donner lieu cet effet initial d'un traitement expérimental. De là provient la nécessité d'interpréter les variations observées, par exemple, sur la fertilité de l'épi ou sur la croissance des caryopses, conditionnellement avec celles relevées préalablement aux niveaux supérieurs (talle, individu).

Au travers des principaux résultats obtenus, il est possible de confronter les différents niveaux auxquels se manifestent les divers effets étudiés : ceux des antécédents culturaux, de la fertilisation, etc...

- Les effets dus à la succession des cultures, comme leurs interactions avec les interventions culturales, n'induisent pas, en général, des attracteurs suffisamment puissants pour provoquer une déformation démographique du peuplement végétal : l'évolution du nombre d'individus au cours de la période de végétation n'est pas modifiée par ces traitements.

- Le peuplement réagit exclusivement par des déformations plastiques observables, en premier lieu, lors du tallage, et surtout à partir de l'élongation des talles productives. Une culture précédente de Betterave (ou d'une culture dérobée d'engrais vert, en conditions favorables), et l'accroissement des disponibilités en azote par un apport convenable d'engrais, se traduisent l'une comme l'autre par un tallage plus abondant du Blé en monoculture. Cés effets, considérés au niveau de la production de grain dans les épis, présentent, en moyenne, des conséquences analogues sur l'effectif des caryopses produits, mais opposées en ce qui concerne leur croissance (poids de 1000 grains).

- Cet exemple, qui met en évidence la prépondérance des disponibilités en azote sur le rendement Blé cultivé en monoculture (en l'absence de compétiteurs sévères), illustre tout d'abord les difficultés rencontrées dans ce mode d'approche, puisque l'opération contrôlée expérimentalement (la fertilisation azotée minérale) ne peut pas prétendre reproduire fidèlement, ou au contraire corriger, les attracteurs traduisant aux niveaux du peuplement végétal, les effets de coupure ou de monoculture.

- Si l'objectif de la plupart des expériences était de mettre en évidence d'éventuelles interactions entre les antécédents cultureux et différentes interventions culturelles, vis-à-vis de la croissance et du développement de la céréale - ce qui a surtout été observé dans le cas de la fumure azotée - l'un des risques aurait consisté à induire des interactions plus complexes, rendant difficile l'appréciation de l'effet de chacun des facteurs mis en jeu. Par exemple, on a pu montrer que les interactions entre la fumure azotée et les antécédents cultureux sur l'état sanitaire du Blé, n'ont eu, en général, qu'un rôle négligeable sur l'évolution du peuplement végétal, et sur la production de grain. Pourtant on sait qu'en conditions favorables à l'extension du piétin-verse, le développement de la maladie peut être influencé par ces interactions, en raison des variations de la densité du peuplement végétal ; en l'occurrence, les cultures plus denses qui succèdent aux précédents favorables, ou qui sont davantage fertilisées, présentent les attaques les plus graves. De ce point de vue il est donc possible de hiérarchiser l'incidence des différentes conditions environnementales, ou culturelles, régissant la manifestation d'un tel phénomène parasitaire. Par rapport aux différences observées entre les variétés, les antécédents cultureux, les niveaux de fumure, etc..., la prépondérance des conditions

climatiques sur le développement du piétin-verse est apparue de façon particulièrement nette au cours de la période d'étude.

- La combinaison de différentes interventions culturales ne provoque pas en général d'interactions complexes, et leurs effets peuvent être considérés comme sensiblement additifs. Cependant, au niveau du peuplement végétal, les interventions culturales qui, finalement permettent de réduire sensiblement la diminution du rendement en monoculture, ne corrigent pas complètement les modifications dues aux antécédents culturaux. Aux attracteurs qu'induit la culture continue et qui se traduisent sur le développement du Blé par une réduction du tallage, on oppose ultérieurement d'autres attracteurs influant sur les disponibilités en azote (augmentation de la dose d'apport) ou sur l'intégrité des organes (traitements fongicides). Ces interventions directement appliquées sur la culture sont apparues les plus efficaces grâce aux compensations qu'elles permettent d'obtenir au niveau du peuplement et de la productivité des épis. Il faut cependant souligner que dans le cas des essais sur Cappelle, l'optimisation de la fumure azotée et l'application de fongicides (en présence de piétin-verse) réduit très sensiblement le déclin du rendement en monoculture ; l'écart qui subsiste permet d'estimer l'incidence des autres phénomènes susceptibles d'intervenir (fonctionnement racinaire, en relation avec l'état structural du sol, par exemple).

- Compte tenu de l'inertie biologique du sol, et de son niveau trophique, l'enfouissement des pailles de la culture précédente n'influe pas sur les disponibilités en azote minéral du sol au cours de la végétation du Blé. L'effet des cultures dérobées d'engrais vert apparaît, quant à lui, irrégulier et rarement intéressant du point de vue technique. Les répercussions phytosanitaires de ces restitutions organiques se sont révélées, en général, négligeables.

En ce qui concerne les conclusions pratiques de cette étude du comportement du Blé en monoculture, il apparaît qu'en conditions de milieu favorables, l'adaptation de la conduite de la culture permet, au moins sur une échelle réduite, à des rendements relativement proches de ceux obtenus dans les rotations actuelles. La mise au point de méthodes de lutte intégrée, que visent à atteindre les travaux des différents services de recherche, devrait permettre, non seulement d'atténuer l'incidence des agents pathogènes dans les rotations céréalières, mais encore de réduire l'importance des variations interannuelles des rendements.

CONCLUSION GENERALE

Par cette étude, il s'agissait à partir de l'analyse du comportement du Blé en monoculture de mettre en évidence les modifications du peuplement végétal aboutissant à la réduction de son rendement en grain.

Par la répétition des expériences sur plusieurs années, il a été possible de mettre en évidence la régularité du phénomène de déclin du rendement, affectant dans les mêmes proportions une variété de Blé d'hiver et une variété de Blé de printemps. Ce phénomène paraît principalement dû à la dissipation des effets résiduels de l'espèce différente précédant la monoculture ; par la suite la culture continue du Blé n'entraîne pas d'effets cumulatifs. L'époque de semis qui est susceptible d'influer sur le développement des attaques parasitaires ne modifie pas sensiblement la réaction du Blé dans une telle succession culturale.

La continuité de ces expériences a permis de constater que les conditions climatiques annuelles sont prépondérantes vis-à-vis des phénomènes parasitaires susceptibles de survenir. La confrontation des résultats obtenus, avec ceux des nombreuses expérimentations décrites dans la bibliographie, montre que si la monoculture céréalière évolue différemment selon les conditions de milieu, et en relation avec le développement des compétiteurs (agents pathogènes et adventices), les déplacements des équilibres biologiques du milieu sont encore difficilement prévisibles. Une voie d'investigation encore peu exploitée pourrait consister à rechercher des relations entre les résultats des expérimentations actuellement en cours et des références obtenues dans des exploitations agricoles environnantes. Ainsi, par exemple, la faible incidence de la monoculture sur le rendement du Blé semble, dans nos conditions, pouvoir être reliée aux différences réduites que l'on peut observer à la suite de divers précédents directs de la céréale.

L'étude de la structure du rendement du Blé montre que son comportement en monoculture est affecté par une réduction du nombre et de la taille de ses organes. La réduction du tallage-épi est, en général, déterminante, et aucune des interventions culturales testées ne permet d'y remédier complètement, autrement que par l'interruption de la succession. Il a été possible de situer l'époque à laquelle la première contrainte environnementale induite par la monoculture commence à se manifester. Elle correspond à la phase du tallage herbacé. Cette contrainte est en partie due aux disponibilités en azote du sol. En revanche, on a pu montrer - directement, par l'étude de la structure du peuplement-épi - et indirectement, par l'application de traitements fongicides, que les attaques de piétin-verse n'influent pas sensiblement à ce stade du développement. Sur les Blés en monoculture ces attaques affectent légèrement la fertilité de l'épi, et par conséquent, le peuplement en grain. Ces deux composantes de la contrainte environnementale expliquent en grande partie la réduction de rendement évoquée précédemment, et les correctifs que l'on peut apporter (traitements fongicides en cas d'attaque parasitaire atteignant le seuil de nuisibilité, et surtout fertilisation azotée) atténuent nettement l'effet de la monoculture.

La comparaison de plusieurs variétés met en évidence des comportements légèrement différents, qui se manifestent surtout lorsque les cultures subissent des attaques parasitaires, auquel cas les réactions des cultivars s'expliquent assez bien par leur niveau de résistance. De plus dans la gamme de variétés testées, toutes ne valorisent pas autant les traitements fongicides, ce qui peut permettre, dans une certaine mesure, l'alternance des moyens de lutte (génétique et chimique) au sein des monocultures.

La mise en oeuvre des différents moyens susceptibles d'influer sur le rendement du Blé en monoculture n'a pas pu être réalisée de façon exhaustive, mais en associant ceux qui paraissaient primordiaux (cultivar, fertilisation azotée, traitements fongicides), on compense en partie l'absence des précédents traditionnels de la culture.

Dans l'état actuel des connaissances, la contribution des autres facteurs responsables de la réduction du rendement en grain est difficile à préciser, même par la conjugaison de méthodes d'étude directes et indirectes.

Les techniques analytiques destinées à apprécier les modifications du milieu, dues à la succession des cultures, s'avèrent souvent trop peu précises pour mettre en évidence des variations d'amplitude limitée, ou transitoires. Dans le cas des problèmes sanitaires, l'estimation de l'inoculum des agents pathogènes d'origine tellurique, et la prévision de ses variations, ne présentent pas une fiabilité suffisante pour permettre d'élaborer une modélisation satisfaisante, adaptée à des conditions de milieu données.

Le prolongement de cette étude implique - d'une part, des études spécialisées des caractéristiques du milieu influencées par la succession des cultures - et d'autre part, le perfectionnement de l'analyse de la croissance du végétal. Le premier axe de recherches doit s'orienter vers un contrôle continu de la teneur en azote du sol, et vers l'estimation de l'inoculum des parasites telluriques, au cours des périodes correspondant à des phases critiques de la céréale. Le second axe doit consister à élaborer un modèle explicatif des variations de rendement de la culture, basé non seulement sur les composantes du rendement, en tenant compte de leur évolution dans le temps et de leurs relations, mais encore sur des critères morphologiques (surface foliaire utile après l'anthèse...). Dans notre approche expérimentale, la recherche d'une variabilité des situations, par la combinaison des facteurs cultureux a été privilégiée par rapport au contrôle des réactions du végétal. La prolongation des principales expériences doit permettre, par l'obtention de répétitions annuelles, de prendre en compte les critères climatiques les plus déterminants pour le comportement du Blé, et de préciser ainsi l'origine de la variabilité interannuelle des rendements et de l'action des facteurs expérimentés.

Au vu des résultats actuels, d'autres thèmes ont d'ores et déjà été retenus, et font l'objet de nouvelles expériences. Il s'agit de l'étude des rotations variétales, au sein desquelles on cherche à cumuler les actions de sélection des cultivars sur la composition de la flore pathogène du Blé, et à en tester les effets résiduels. Par ailleurs, il semble intéressant, pour préciser les critères variétaux déterminants vis-à-vis du comportement en monoculture, d'étudier l'évolution d'un mélange de cultivars, lorsque ce mélange est systématiquement ressemé sur une même parcelle.

\* \*

\*

BIBLIOGRAPHIE



AGERBERG L.S., BJOERKLUND C.M. (1963) - Influence of preceding crops in rotations upon the following crops.  
Rep.Agric.Coll.Sweden, Série A, n°6, Uppsala. (texte en suédois)

AGERBERG L.S. (1967) - One-sided crop husbandry.  
Rep.Agric.Coll.Sweden, Série A, n°74, Uppsala.(texte en suédois)

ALDRICH S.R. (1964) - Are crop rotations out of date ?  
Proc.Hyb.Corn Ind.Res.Conf. (19)7-13.

ALLEN M.W., HART W.H., BAGHOTT K. (1970) - Crop rotation controls, barley root-knot nematode at Tulalake.  
Calif.Agric., 24(7)4-5.

ALLISON F.E., STERLING . (1959) - in ALLISON (1965)..

ALLISON F.E. (1965) - Soil organic matter and its role in crop production. Soil Nitrogen- Bartholomew & Clark, ed.-Amer.Soc.Agron.

AMBROZOVA M. (1974) - Influence of winter wheat monoculture on the microbial life in soil.  
Rostl.Vyr. 20(3)263-269. (texte en tchécoslovaque).

ANCELLIN ., REDLICH . (1960) - Influence du précédent cultural sur l'acide phosphorique des sols de limon.  
C.R.Acad.Agric. pp.669-676.

ANSELME C. (1975) - Importance des semences dans la lutte intégrée.  
Bull.OEPP 5(2) 137-139.

ANSORGE H., SCHNEE M., JAUERT R. (1967) - Untersuchungen über die Wirkung langjähriger Strohdüngung bei unterschiedlichen Stickstoffgaben  
Albr.Thær.Arch. 11(2)163-169.

ARFIRE A. (1968) - Experimental results from rotations.  
Anal.Inst.Carc.Cer.Pl.Teh. (B) 34: 776 (texte en roumain).

ASANA R.D., MANI V.S. (1950) - Studies in physiological analysis of yield.(I). Physiol.Pl.(3)22-39.

- (1955) - Studies in physiological analysis of yield (II).Physiol.Pl.(8) 8-19.

ATKINSON T.G., NEAL J.L., LARSON Ruby I. (1975) - Genetic control of rhizosphere microflora of wheat. Biology and Control of Soil-Borne Plant Pathogens- Amer.Phytopathol.Soc., St.Paul Minnesota pp.116-122.

AUSTENSON H.M., WERNHARDT A., WHITE W.J. (1970) - Effect of summer-fallowing and rotation on yield of wheat, barley, and flax.  
Can.J.Pl.Sci. 50(6)659-666.

BACHTHALER G., BEHRINGER P. (1973) - Ertragsleistungen und befall mit zystenbildenden Nematoden bei verschiedenen Feldfrüchten im lang-jährigen Daueranbau.  
Zeit. für Ack. und Pfl. 138: 21-38.

BADENITZ S., SCHMIDT P. (1970) - (Modèles de programmation linéaire pour l'enregistrement des effets de la rotation des cultures)  
Albr.Thær.Arch. 14(2) 181-187 (texte en allemand).

BAKER K.F., SNYDER W.C. (1965) - Ecology of soil-borne pathogens.  
Univ. of California Press- Berkeley- pp.423-433.

BAKER K.F., COOK R.J. (1974) - Biological control of plant pathogens.  
San Francisco- W.H.Freeman & C°- 433p.

BALDY Ch. (1973) - Progrès récents concernant le système racinaire du Blé. Ann.Agron.24: 241-276.

- (1974 a) - Sur le comportement de cultivars de Blés tendres cultivés seuls ou en associations binaires et en lignes alternées.  
Ann.Agron.25: 61-91.

- (1974 b) - Quelques réflexions concernant les caractères du rendement des blés. Ann.Agron.24: 193-200.

BARBIER G., BOISCHOT P. (1954) - Cinq années d'expériences sur la fumure à la paille.  
C.R.Acad.Agric. pp.43-49.

BARBIER G., CHABANNES J. (1961) - Interaction de la fumure organique et de l'azote minéral.  
Agrochimica 5: 217-223.

BARKER K.R. (1974) - Influence of geographic area and previous crop on occurrence and densities of plant-parasitic nematodes in North-Carolina. Pl.Dis.Rep. 58(11) 991-995.

BARLOY J. (1976) - in C.R.Action concertée ONIC-INRA-ITCF, centre de Rennes 62 pp.

- BARRALIS G. (1965) - Aspect écologique des mauvaises herbes dans les cultures annuelles. in 3ème Conf. du COLUMA pp.5-25.
- BARRALIS G. (1969) - Observations sur l'évolution de la flore adventice. Influence de quatre années de désherbage sur un assolement normal. in 3ème Coll. sur la biologie des mauvaises herbes; ENSA Grignon pp.39-61.
- BARRALIS G. (1973) - Survie des semences de mauvaises herbes dans les terres cultivées. Phytoma 250: 25-30.
- BARRET D.W., CAMPBELL N.A. (1973) - An evaluation of effect of competition between wheat and Lolium rigidum during early stages of growth. Austr.J.Exp.Agric.and An.Husb. 13(64) 581-586.
- BARTELS A. (1967) - (Influence de cultures intercalaires d'été sur la hausse des rendements des rotations). Albr.Thær.Arch. 11(1) 59-67 (texte en allemand).
- BAZDYREV G.I., SMIRNOV B.A. (1975) - Compétition entre le blé d'hiver et les adventices, et son rôle dans l'amélioration de l'efficacité des herbicides. Izv.Timir.Sel's.Akad.(texte en russe).
- BENADA J., VANOVA M. (1974) - Contrôle d'Avena fatua en condition de forte concentration céréalière. Rost.Vyr. 20(3) 287-296. (texte en tchécoslovaque).
- BENDER J. (1972) - Effets des rotations et de la monoculture sur la fertilité des sols légers. Zesz.Probl.Post.Nauk.Roia. 137: 139-153 (texte en polonais).
- BEREMSKI P. (1974) - La monoculture de blé. Rast.Nauk. 11(7) 33-40 (texte en bulgare).
- BERTRAND D., de WOLF A. (1973) - Influence de certains désherbants sur la microflore du sol. Conséquences agronomiques. C.R.Acad.Agric. 58(17) 1468-1473.
- BEVERIDGE et al. (1965) - in THORNE G.N. (1974).
- BILIOTTI E. (1975) - Aspects écologiques des problèmes phytosanitaires en cultures céréalières. Bull.Techn.Inf.297: 191-194.
- BISWAS T.D., JAIN B.L., BAINS S.S. (1971) - Response of wheat and potatoe to physical properties of the soil as obtained under different crop rotations. Int.Sym.Soil Fert.Eval.Proc. (1) 475-485.
- BLONDEL D. (1971) - Rôle de la matière organique dans la minéralisation en sol sableux, relation avec l'alimentation azotée du Mil. Agron.Tropic. Série III, 26(12) 1372-1377.
- BOCKMANN H. (1953) - Untersuchungen über die Anfälligkeit verschiedener Weizensorten gegen die Halmbruchkrankheit des Getreides. Z.Pflanzenzücht 32: 361-372.
- (1962) - Fruchtfolge und Fusskrankheitsgefahr beim Weizen. Sonderdruck Praxis und Forschung 14(2).
- (1963) - Halmverkürzung und Lagerfusskrankheit. Vor.Tag.Ab.Krankh.und Resist.2/12/1962 Giessen.
- , KNOTH K.E. (1965) - Zür Ertragsbildung von Sommerweizen nach verschiedenen Vorfrüchten unter besonderes Berücksichtigung der Schäden durch Fusskrankheiten. Zeit.für Pflanz.und Pflanz. 72: 386.
- (1968) - Phytopathological aspects of CCC application. Euphytica 17: 271-274.
- (1970) - Progressive Getreidemonokultur und Fusskrankheiten auf grund von Erfahrungen in Norddeutschland. Nachr.Dtsch.Pflanz.Braunschweig 22(4) 58-62.
- BOND J.J., POWER J.F., WILLIS W.O. (1971) - Tillage and crop residue management during seedbed preparation for continuous spring wheat. Agron.J. 63(5) 789-793.
- BÖNING Von K. (1970) - Fortgesetzter Getreidebau, eine Herausforderung der Betriebswirtschaft an den Pflanzenschutz. Nach.Dtsch.Pflanz.22: 49-50
- BORNER H. (1960) - Liberation of organic substances from higher plants, and their role in the soil sickness problem. Bot.Rev. 26: 393-424.
- BOUCHET F., LESCAR L. (1976) - cités par FRASELLE (1976).
- BOULLARD B., MOREAU R. (1962) - Sol, microflore et végétation. Masson et Cie- ed.-Paris- 172p.
- BRENCHLEY W.E., WARRINGTON K. (1930) - The weed seed population

- BREngle K.B., GREB B.W. (1963) - Comparison of continuous wheat and wheat after fallow in Colorado.  
Bull.518-S. Colorado Agric.Exp.St.p.10.
- BRESLIN F.J. (1975) - The effect of repeated annual application of benzoylprop-éthyl on populations of Avena fatua, and A.ludoviciana in winter wheat.  
In Proc.12th. British Contr.Conf. Brighton 1974 pp.393-900.
- BROADFOOT W.C. (1933) - Studies on foot and root-rot of wheat.  
Can.J.Res. 8: 545-552.
- BRÖNNIMANN A. (1969) - cité par KOLLER J. (1969).  
- , FOSSATI A. (1973) - Tolérance à Septoria nodorum Berk. chez le blé: méthodes d'infection et sélection par mutagénèse.  
Proc. FAO/LAEA - Vienna 1974 pp.117-123.
- BROOKS D.A., DAWSON M.G. (1968) - Influence of direct drilling of winter wheat on incidence of take-all and eyespot.  
Ann.Appl.Biol.61: 57-64.
- BROWN R.H. (1973) - Chemical control of the cereal cyst-nematode (Heterodera avenae). Austr.J.Exp.Agric.and An.Husb.13(64) 587-592.
- BRUEHL G.W. (1975) - Systems and mechanisms of residues possession by pioneer fungal colonists. Biology and Control of Soil-Borne Plant Pathogens. Amer.Phytopathol.Soc., St.Paul Minnesota pp.77-83.
- BUNTING A.H., BRENNAN D.S.H. (1966) - Some aspects of the morphology and physiology of the cereals in the vegetative phase.  
The growth of cereals and grasses. Ed.F.L.Milthorpe & J.D.Ivins,Lond.
- BURROWS F.M. (1975) - Wind dispersal of weed seeds.  
in Proc.12th.Brit.Contr.Conf., Brighton 1974 pp.1121-1129.
- BUTLER F.C. (1961) - Root and foot rot disease of wheat.  
Sci.Bull.Dep.Agric.New South Wales 77, 98p.
- BUXTON E.W. in PARK D. (1963).
- CAPUTA J., AEBI H. (1953) - Valeur du maïs-grain comme culture précédant le froment d'automne.  
Rev.Rom.Agric.Vit.Arb. (9) 94
- CARLES J., SOUBIES J., GADET R. (1960) - Etude physiologique de la verse du blé. Ann.Phys.Veg.(3) 143-170.
- CASSINI Renée, CASSINI R., MASSENOT M. (1966) - Mycoflore d'un sol cultivé en blé depuis 1900 à l'ENSA de Grignon.  
Bull.Ass.Fr.Et.Sol (12) 355-365.
- CASSINI R. (1967) - A propos des dégats provoqués par Fusarium roseum (Link). C.R.Agric.(53) 858-867.
- CASSINI R. (1970) - Facteurs favorables au développement des fusarioses et septorioses du blé.  
EUCARPIA-Dijon.
- CASSINI R. (1973) - Influences des techniques de culture sur le développement des maladies des céréales.  
C.R.Journ.Et.ITCF-Versailles p.17-34.
- CASSINI R., CASSINI Renée, PAUVERT P. (1975) - La lutte intégrée dans les rotations céréalières.  
Bull.Tech.Inf.297: 201-210.
- CASSINI R. (1975) - Quelques problèmes de pathologie dans les rotations céréalières. Bull.OEPP 5(2) 141-152.  
- , GUERIN D., LESCAR L. (1976) - Incidence de la simplification du travail du sol sur le développement des champignons parasites. C.R.Coll. ITCF, 7-8 décembre Paris pp.219-229.
- CAUSSANEL J.P. (1973) - Etude préliminaire sur la période de plus grande compétition par les adventices du blé d'hiver.  
C.R.Agric.59(4) 233-241.
- CAVAZZA L. et al. (1972) - Comparaison de rotations culturales et de fertilisants sur un sol noir méditerranéen.  
Riv.di Agron.6(3) 123-147.
- CHABANNES J. (1972) - Arrière-effets de la paille enterrée sur le cycle annuel de l'azote du sol.  
C.R.Agric. p.231-238.
- CHANDNANI J.J., MIRCHANDANI T.J., RAHEJA P.C.,SINGH P. (1960) - Studies in crop rotations.  
Indian J.Agron.5(1) 1-15.
- CHEVAUGEON J. (1973) - in CASSINI et al. 1975.

- CHIRITA Valeria, GHINEA L. (1972) - Influence of herbicides on soil biological activity. II- Nitrification. 3rd Symp. on soil biology. Rumanian Nat.Soc.Soil Sci.Bucharest,dec.
- CHOPPIN de JANVRY E., et al. (1971) - Les Nématodes des Céréales. in Les Nématodes des Cultures- ACTA- p.273-291.
- CLARK R.V., MACK A.R. (1974) - (Effets de la culture d'orge sur orge sur les rendements, la composition chimique, et l'importance des maladies. Can.J.Pl.Sci.54(2) 307-314 (Texte en anglais).
- COCHRAN W.G., COX G.M. (1950) - Experimental designs. New York, J.Wiley & Sons Inc.,2nd.ed., 611p.
- COIC Y. (1950) - Contribution à l'étude de la physiologie du blé- la nutrition azotée du blé. Ann.Agron.pp.195-203.
- COIC Y. (1952) - La nutrition azotée du blé. Ann.Agron.Série A.3:417-421.
- COIC Y., LEFEBVRE J.M. (1960) - Variations du taux d'azote du grain de blé. C.R.Acad.Agric.p.369.
- COIC Y. (1962) - L'influence de la nutrition minérale des plantes sur la valeur alimentaire et technologique des récoltes. EUCARPIA- Paris. pp.219-229.
- COLHOUN J., TAYLOR, TOMLINSON (1968) - in COLHOUN J. (1973).
- COLHOUN J. (1973) - Effects of environmental factors on plante disease. Ann.Rev.Phytopath.(11)p.343.
- COLLIER D. (1969) - Essai de synthèse sur la cinétique de la minéralisation de l'azote humique des sols, et applications. CNRA-Clermont-Ferrand- ronéo-56p.
- COLLINGWOOD C.A. (1962) - Continuous corn growing and cereal root-eelworm in the southwest (England & Wales). Quart.Rev.NAAS.14(58) 70-73.
- COOK R.J., HUBER D., POWELSON R.L., BRUEHL G.W. (1968) - Occurrence of take-all in wheat in the Pacific Northwest. Pl.Dis.Rep.52: 716-718.
- COOLEY W.W., LOHNES P.R. (1971) - Multivariate data analysis. New York, John Wiley & Sons, Inc. 364p.
- CORNFIELD A.H. (1964) - Effect of period of air-dry storage of soils on the subsequent accumulation of mineral nitrogen during incubation. Pl.Soil 20(2) 260-264.
- COTTON J. (1967) - Break-crops for wheat and barley. Rep.Welsh Pl.Br.St.pp.89-91.
- COUVREUR F., DAGNEAUD J.P., HAUCOURT A. (1975) - Influence de différentes techniques culturales sur la persistance de l'atrazine dans une rotation maïs-blé. Proc.Europ.Weed Res.Soc.pp.286-295.
- CRESPY A. (1973) - Reflexions sur quelques essais de lutte contre les maladies du Blé tendre et du Blé dur. C.R.Journ.Et. ITCF 28/02,p.201
- CROHAIN A., RIXHON L. (1967) - La valeur fertilisante pratique des feuilles et collats de betterave sucrière. Bull.Rech.Agron.Gembloux 11(3) 397-428.
- CUNNINGHAM P.C. (1975) - Some consequences of cereal monoculture on soil-borne pathogens. Bull.OEPP.5(4)297-318.
- CURL E.A. (1963) - Control of plant diseases by crop rotation. Bot.Rev.29(4)413-479.
- CUSSANS G.W. (1975) - Weed control in reduced cultivation direct-drilling systems. Outlook Agric.8: 240-242.
- CZERATZKI W. (1972) - (Les exigences des plantes vis-à-vis des conditions physiques du sol. Landb.Völk.22(1) 29-36. (texte en allemand).
- DAMISCH W. (1970) - (La formation du rendement en grain des céréales. Albr.Thaeer-Arch.14(2) 169-179 (texte en allemand).
- DANCIK J. (1967) - Résultats d'essais de cultures dérobées d'hiver: effets sur les cultures principales leur succédant dans l'assolement. Rost.Vyr.13(11) 1221-1232 (texte en tchécoslovaque).
- DANIEL H.A. et al. (1956) - Stubble mulch and other cultural practices for moisture conservation and wheat production. Prod.Res.Rep.6 Agric.Res.Serv.U.S.Dep.Agric.pp.44.

- DAVIES B., CANNELL R.Q. (1975) - Outlook on Agriculture- 8:216-221.
- DAW M.E. (1963) - Continuous barley cropping.  
Fm.Mgmt.Notes, Univ.Nottingham 29: 7-12.
- DEACON J.W. (1973) - Control of the take-all fungus by grass leys  
in intensive cereal cropping.  
Plant Pathol.22(2) 88-94.
- (1973) - Behaviour of Cercospora herpotrichoides and  
Ophiobolus graminis on buried wheat plant tissues.  
Soil Biol.Biochem.5: 339-353.
- DEBRUCK J. (1965) - Untersuchungen über die Wirkung von Strohdüngung,  
Gründüngung und Stickstoffdüngung auf Fusskrankheiten und Ertrag-  
sbildung bei Getreide.  
Zeit.für Ack.und Pfl. 123: 75-105.
- (1969) - Minimalbodenbearbeitung und Direktsaat.  
Mitt.der D.L.G.pp.233-236.
- , RANGE W. (1969) - Extreme Getreidefruchtfelder mit jähr-  
licher Stroh und Stroh-Gründüngung.  
Zeit.für Ack.und Pfl.129(1) 29-61.
- (1970) - Langjährige Feldversuche über die organische Dün-  
gung in getreidereichen Fruchtfolgen.  
Landw.Forschung-u'spécial 25/11 pp.9-24.
- DEFOSSE L. (1966 a) - Les premiers stades de l'infection de Cerco-  
sporella herpotrichoides Frou sur froment, seigle et avoine.  
Bull.Rach.agron.Gembloux 1p.561.
- (1966 b) - Influence du CCC sur la maladie du piétin-  
verse. Rap.Act.Stat.Gembloux 1966.
- , RIXHON L. (1968) - Influence d'une série de précédents  
culturels sur les piétins des froments.  
Parasitica 24: 107-120.
- DEMARLY Y. (1975) - Considérations théoriques sur la concurrence chez  
les végétaux. Ann.Amélior.Plan. 25(1) 65-83.
- (1976) - Essai de biodynamique généralisée des systèmes  
génétiques. Ronéo, extrait du n°3 "Le tocsin du radiateur".
- DENCH J.A. et al. (1972) - Break crops- anaconomic study in Southern  
England. Econ.Rep.Agric.Enterp.St.in England& Wales,n°13.
- DIERCKX R. (1964) - Über die fungitoxische Wirkung des Cyanamids  
gegen Cercospora herpotrichoides.  
Naturwissensch.51: 118-119.
- (1965a) - Die Bekämpfung der Halmbruchkrankheit des Getrei-  
des unter besonderer Berücksichtigung Chemischer Verfahren.  
Bayerisches Landw.Jahr., Sonderheft 4, 135p.
- (1965b) - Über die Bekämpfung der Halmbruchkrankheit des  
Weizens mit Chlocholinchlorid.  
Zeit.Pflanzenkr.Pflanz.72: 257-271.
- (1966) - Die meteorologischen Grenzen bei Voraussage einer  
Halmbruchepidemie.  
Zeit.Pflanzenkr.Pflanz.73: 117-136.
- , et al. (1970) - Ist fortgesetzter Getreidebau im Hinblick  
auf Fusskrankheiten möglich ?  
Nachricht.Deutsch Pflanz.22(4)51-58.
- (1972) - Wirtschaftliche Aspekte des Pflanzenschutzes  
bei verstärktem Getreide bau unter süddeutschen Verhältnissen.  
Bayerisches Landw.Jahr.49(1) 12-28.
- (1975) - Cultural measures, crop protection and economics  
in cereal monocultures in Bavaria. Bull.OEPP 5(2) 153-172.
- DILZ K. (1964) - On the optimal nitrogen nutrition of cereals.  
Versl.Landbouwk Onderz.n°641pp.134 (Landb.Hogesh,Wageningen)
- DIMOV A. (1975) - Acomparative study of certain soil physical  
properties in the cropping of continuous winter wheat and in  
alternative crop rotations with hoed crops.  
Potsh.i Agrok.10(3) 111-119.(texte en bulgare).
- DOBIAS A., TURCANY J. (1966) - La productivité des assolements avec  
ou sans utilisation d'engrais verts.  
Pol'no hospodarstvo 12(10) 794-801 (texte en tchécoslovaque).

- DOLING D.A., BATTIS C. (1960) - Effects of previous cropping on eye-spot and take-all in four varieties of winter wheat.  
Plant Pathol.9: 115-118.
- DOMMERMUES Y., MANGENOT F. (1970) - Ecologie microbienne du sol.  
Masson et Cie éd. Paris- 796p.
- DOMSCH K.H., GAMS W., WEBER E. (1968) - The influence of different precrops on soil fungal flora in wheat fields.  
Zeit.für Pflanz.und Boden 119(2) 134-149 (texte en allemand).
- DONTSHEV S. et al. (1975) - Influence des assolements et des fumures sur certains indices de fertilité du sol.  
Potsh.i Agrok.10(1) 123-133 (texte en bulgare).
- DOSBA Françoise, AURIAU P., DOUSSINAULT G., KOLLER J., ROUSSET M. (1975) - Les objectifs de la sélection- Techniques nouvelles de production du blé.  
ITCF- Paris 1975 pp.119-140.
- DOUSSINAULT G. (1970) - Problèmes posés par l'amélioration de la résistance du blé tendre vis-à-vis du piétin-verse C.herpotrichoides.  
Ann.Amélior.Plantes 20: 433-452.
- (1973) - Comportement de 12 variétés de blé tendre vis-à-vis du piétin-verse. Conséquences pour la sélection.  
Ann.Amélior.Plantes 23(4) 333-346.
- , KOLLER J., TOUVIN H., Françoise DOSBA (1974) - Utilisation des géniteurs VPM I dans l'amélioration de l'état sanitaire du blé tendre.  
Ann.Amélior.Plantes 24(3) 215-242.
- (1976) - in C.R. Action concertée ONIC-INRA-ITCF, centre de Rennes 62 pp.
- DRANDAREVSKI C.A. (1971) - Effet de la monoculture céréalière sur l'activité des microorganismes du sol.  
Zeit.Pfl.Krankh.Pfl.78: 193-216 (texte en allemand).
- DRAPER N., SMITH H. (1966) - Applied regression analysis.  
New York, John Wiley & Sons, Inc. 408p.
- DROUINEAU G., LEFEVRE G. (1949) - Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols.  
Ann.Agron.pp.518-536.
- DROVER D.P. (1956) - The influence of various rotations on coarse-textured soils.  
J.Soil Sci.7(2)219-225.
- DUDDINGTON C.L., DUTHOIT C.M.G. (1960) - Green manuring and cereal root-eelworm. Pl.Pathol.9: 7-9.
- DYKE G.V., PREW R.D. (1970) - The relative values of alternative break crops before winter wheat.  
Rothamsted Exp.St.pp.236-237.
- (1973) - Green manuring for barley at Woburn.  
J.Agric.Sci.80(1) 11-15.
- EBBELS D.L. (1971) - Effects of soil fumigation on soil nitrogen and on disease incidence in winter wheat.  
Ann.Appl.Biol.67(2) 235-243.
- EFFLAND H. (1973) - Bekämpfung von Pilzkrankheiten im intensiven Getreidebau durch Sprossbehandlung.  
Mitt.Biol.Bundesanst.für Land und Forstw. Berlin-Dahlen (151).
- EHRENFORDT V., RÖNSCH H. (1973) - Contrôle des effets de la rotation culturale en utilisant la fertilisation azotée comme mesure d'intensification.  
Arch.für Ack.und Pflanz.und Boden 17(6) 435-440.(texte en allem.)
- ELIADE G., CHIRITA Valeria, PETRESCU Rodica, STEFANIC G., CICOTTI M. (1972) - Aspects of biological decomposition of vegetable matter in soil. 3rd Symp.on soil biology. Rum.Nat.Soc.Soil Sci.Bucharest.
- ELLIOTT J.C. (1972) - Weed control: the long terme approach.  
Span 15(3) 117-119.
- EMMOND G.S. (1971) - Effet des rotations, du travail du sol et de la fertilisation sur l'agrégation d'un sol argileux.  
Canadian J.Sci.Soil 51(2) 235-241 (texte en anglais).
- ETHERIDGE Judith, SLOPE D.B. (1967) - Continuous wheat growing and the decline of take-all.  
Rothamsted Exp.St.Rep.for 1966 p.423.
- (1969) - Take-all on Broadbalk wheat (1958-1967).

- FAASSEN H.G.VAN (1974) - Effect of the fungicide benomyl on some metabolic processes, and on number of bacteria and actinomycetes in the soil.  
Soil Biol.Biochem.6: 131-133.
- FACEK Z. (1971) - Effet des cultures sur les propriétés physiques du sol. Rost.Vyr.17(44) 135-142 (texte en tchécoslovaque).
- FAIVRE-DUPAIGRE R. (1976) - Les problèmes phytosanitaires des céréales CR. Coll. Gembloux, 8 septembre 1976.
- FEHRMANN H. (1970) - Bekämpfung der Halmbruchkrankheit des Weizens mit Benomyl.  
Nach.Deutsch.Pflanzenschutzd.22: 136-139.
- , SCHRÖDTER H. (1971) - Ökologische Untersuchungen zur Epidemiologie von Cercospora herpotrichoides (I).  
Phytopathol.Z.71: 66-82.
- (1972) - Ökologische Untersuchungen zur Epidemiologie von Cercospora herpotrichoides (IV).  
Phytopathol.Z.74: 161-174.
- FELL H.R. (1967) - The deterioration in husbandry standards.  
J.Fmrs'Club-april.
- FINNEY, KNIGHT (1973) - The effect of soil physical conditions produced by various cultivation systems on the root development of winter wheat. J.Agric.Sci.
- FISCHBECK G., HANUS H., FRANKEN H. (1969) - Systemwirkung von Fruchtfolgen. Zeit.für Ack.und Pflanz.129: 310-324.
- FISCHER R. (1971) - Recherches sur l'augmentation des populations de Nématodes phytophages, et sur les rendements, en culture continue de céréales. Arch.für Ack.und Pflanz.und Boden 15(7) 479-512 (all.)
- FISCHER R.A., KOHN G.D. (1966) - in THORNE G.N. (1974).
- FOCKE I. (1972) - Pflanzenschaudage dans les cultures céréalières intensives. Nachricht.für den Pflanz.Schutz.in den DDR (all.)
- FOURBET J.F. (1975) - Effets à long terme des techniques de travail du sol. SEI-INRA Etude n°59 pp.145-204.
- , RECAMIER A. (1976) - Techniques simplifiées de semis des céréales. Coll.Gembloux- sept.1976.
- FRANKE G. (1962) - Zur Frage der Verträglichkeitsbeziehungen bei Getreide. Kühn Archiv 76: 122-130.
- FRASSELLE J. (1976) - Les traitements fongicides en blé d'hiver et en escourgeon. Coll.Gembloux 8 sept.1976.
- GACHON L. (1973) - Influence du système cultural sur l'économie de l'azote en sol argilo-calcaire de Limagne.  
Sci.du Sol n°3.
- GAIR R., MATHIAS P.L., HARVEY P.N. (1969) - Studies of cereal nematode populations and cereal yields under continuous or intensive culture.  
Ann.Appl.Biol.63(3) 503-512.
- GARRETT S.D. (1942) - The take-all disease of cereals.  
Techn.Commun.Imper.Bur.Sci.Soil 41,40p.
- (1950) - Ecology of the root-inhabiting fungi.  
Biol.Rev.Cambridge Phil.Soc.25: 220-254.
- (1956) - Biology of rotting-infecting fungi.  
Cambridge Univ.Press, Cambridge- 293p.
- (1972) - Factors affecting saprophytic survival of six species of cereal foot-rot fungi.  
Trans.Br.Mycol.Soc.59: 445-452.
- GAWRONSKA Kulaszowa (1970) - Evaluation of different rotation links.  
Roczn.Nauk.Rolnicz - 3: 163-179.
- GEREK R. (1967) - Is it possible to grow wheat continuously in Central Anatolia by applying commercial fertilizers?  
Eskisehir Toh.Isl.Den.Ist.(2)p.22.
- GERLACH M. (1968) - Introduction of Ophiobolus graminis into new polders and its decline.  
Netherlands J.Pl.Pathol.74 suppl.n°2.
- GESLIN H. (1944) - Contribution à l'étude du climat du Blé.  
Thèse, Paris.
- (1954) - Influence de la température sur le tallage-épi du blé.  
Ann. Epiphyt. 1954, 1: 1-10.

GHINEA L., STEFANIC G. (1972) - Influence of herbicides on soil biological activity. I- Deshydrogenase activity.  
3rd Symp.on Soil Biology.- Rum.Nat.Soc.Soil Sci. Bucharest- decemb.

GILL W.D., LANG R.W., RODGER J.B.A. (1974) - The effect of chlor-mequat and nitrogen on straw lenght lodging and grain yield of wheat. Exp.Husbandry 27: 50-56.

GINDRAT D., VEZ A. (1973) - Lutte contre le piétin-verse des céréales- (I)- Connaissance du parasite et possibilités de lutte chimique. Rev.Suisse Agric.5(2) 39-44.

GLIEMEROTH G., KÜBLER E. (1972) - Etudes de rotations plus ou moins céréalières, en cinq sites.(I).  
Zeit.für Ack.und Pflanz.136: 34-54 (texte en allemand).

- (1973) - Etudes de rotations plus ou moins céréalières, en cinq sites.(II).  
Zeit.für Ack.und Pflanz.137: 153-173 (texte en allemand).

- (1974) - Recherches sur les effets du maïs et des fongicides systémiques pour réduire l'incidence des maladies dans les rotations céréalières intensives.  
Zeit.für Ack.und Pflanz.139: 25-34 (texte en allemand).

GLYNNE Mary D. (1954) - Cereal foot and root-rot.  
Rothamsted Exp.St.Rep.1954 p.94-95.

- (1965) - Crop sequence in relation to soil-borne pathogens. Ed.K.F.Baker & W.C.Snyder, Berkeley. Univ.California Press pp.423-435.

- (1957) - Eyespot and take-all of wheat and barley.  
Agric.Rev.2: 10-15.

- (1969) - Fungus diseases of wheat on Broabalk (1843-1967). Rothamsted Exp.St.Rep.for 1968 part 2.

GOLOD B.J. (1967) - Influence du mode d'apport de la paille sur l'activité biologique du sol et le rendement des plantes.  
Izv.Timirj.Sel'sk.Akad.3: 141-145 (texte en russe).

GOMAND M. et al. (1975) - Behaviour of winter wheat after beat treated with ethofumesate.  
3ème Réunion Intern.Dés herb.Sélect.de la Betterave- Paris. pp.425.

GOOD J.M. (1968) - in NUSBAUM et FERRIS (1973)

GOTSOVA V. (1968) - Quality of wheat grain and flour as influenced by rotation and preceding crops.  
Rasteniev Nauki 5(1) 69-79 (texte en russe) .

GOURNAY (de) X., DUFOUR J.L., CLAIR D., BURTE A. (1973) - Aspects du contrôle du chiendent (Agropyrum repens) dans les rotations céréalières. C.R. de la 7è Conf. COLUMA pp.443-454.

GRAFFIN Ph. (1971) - Etude intégrée de la décomposition d'apports organiques dans le sol.  
Ann.Agron.22(2) 213-239.

GREENLAND D.J. (1972) - La structure du sol: problèmes et remèdes.  
Span 15(1) 34-36.

GREGORY P.H. (1966) - Fungus diseases of cereals.  
Rothamsted Exp.St.Rep.1965 pp.123-127.

GRIGNAC P. (1964) - Contribution à l'étude de Triticum durum.  
Thèse Toulouse 152p.

- (1975) - Déviation génétique de biotypes de plantes adventices sous l'action répétée de traitements herbicides.  
EWRS 1: 340-348.

GRIGOR'EVA T.G. (1968) - Formation of processes of autoregulation in associations of crops in a long terme monoculture.  
13th. Intern.Cong.Entomol.Moscow 2: 336-337 (texte en russe).

GROOTENHUIS J.A. (1975) - Twenty years experience with crop rotation experiments in the north-east polder.  
3è Conf. sur les monocultures de céréales- OEPP 17-19 juin Gembloux.

GROSSMANN F. (1953) - Über die Einwirkung von Gründüngung und Vorfrucht auf O.graminis.Mitt.aus der Biologischen Zentralanstalt Berlin-Dahlem,Heft 75p.168.

GUILLEMET R. (1972) - Etude de la concurrence exercée par le vulpin des champs à l'égard du blé tendre d'hiver.  
Phytoma 241: 9-12.

- GUIOT J. (1967) - Etude de l'azote dans le sol.  
Rapp.Activ.Gembloux pp.52-61.
- (1972) - Etude de l'azote du sol et de la fumure.  
Rapp.Activ.Gembloux pp.71-81.
- HARMSSEN G.W., KOLENBRADER G.J. (1965) - in BARTHOLOMEW W.V. et CLARK F.E.  
Soil nitrogen - Amer.Soc.Agron.- Madison pp.43-92.
- HEBERT J. (1957) - L'humus dans les régions de grande culture.  
Bull.Techn.Inf.2p.120.
- HEBERT J. (1969) - La fumure azotée du Blé tendre d'hiver.  
Bull.Techn.Inf.244: 755-766.
- HEBERT J. (1975) - Données récentes sur la fertilisation azotée du Blé.  
C.R.Journ.Et.ITCF 14janvier, pp.142-167.
- HEIDE A. (1975) - (Etudes de la dynamique des populations de nématodes  
migrateurs des racines dans des monocultures de céréales, ainsi  
que dans des cultures alternées de céréales.)  
Arch.für Phytopathol.und Pflanz.11(3) 225-232. (texte en allemand).
- HENIN S., MONNIER G., TURC L. (1959) - Un aspect de la dynamique des  
matières organiques du sol.  
C.R.Acad.Agric.248p.38.
- , GRAS R., MONNIER G. (1969) - Le profil cultural.  
éd. Masson & Cie (2<sup>e</sup> éd.) Paris, 332p.
- HEUZE G. (1862) - Les assolements et les systèmes de culture.  
Libr.Hachette & Cie - Paris, 530p.
- H.M.E.H.F. (1971) - Weed control in a continuous wheat cropping system.  
UK. High Mowthorpe Exp.Husb.Farm pp.21-24.
- HIRST J.M. (1973) - Attempts to explain the nature of decline of take-  
all. Rothamsted Exp.St.Rep. for 1972 pp.135-136.
- HOBBS J.A. (1971) - Yields and protein contents of crop in various  
rotations. Agron.J. 63(6).
- HOLMES S.J.I. et al (1975) - Straw-borne inoculum of Septoria nodorum  
and S.tritici in relation to incidence of disease on wheat pinats.  
Pl.Pathol.24(2) 63-66.
- HOOD A.E.M., PROCTER J. (1961) - An intensive cereal growing experi-  
ment. J.Agric.Sci.57(2) 241-247.
- HOOD et al. (1964) - The use of Paraquat as an alternative to ploughing.  
Proc.7th.Br.Weed Control Conf.: 907.
- HORNBY D. (1975) - Inoculum of the take-all fungus : nature, measura-  
ment, distribution and survival.  
Bull.OEPP 5(4) 319-334.
- HORNE B. (1973) - Leys and soil fertility. 1- Crop production.  
Exp.Husb. 23: 86-103.
- HOSTRUP S.B. (1972) - Continuous cereal growing in relation to different  
treatment of the stubble. Tidssk.Planeavl.76: 490-502.
- HUBER D.M. et al. (1968) - Effect of nitrogen fertilization on take-all  
of winter wheat. Phytopathol.58: 1470-1472.
- HUBER D.M., WATSON R.D. (1970) - Effect of organic amendment on soil  
borne pathogens. Phytopathol.60(1)22-26.
- , MILANAX M.W. (1972) - Benomyl rates and application time  
for wheat foot rot control. Plan.Dis.Rep.56: 342-344.
- HUBER D.M., WATSON R.D. (1972) - Nitrogen forms and plant disease.  
Down to Earth. 27: 14-15.
- HUET Ph. (1972) - Etude des composantes du rendement dans une mono-  
culture de blé. Mémoire DEA Univ.Paris XI .90p.
- (1973) - Quelques résultats sur les essais de monoculture  
de blé à Grignon. C.R.Acad.Agric.pp.541-552.
- (1975 a) - Considérations sur la culture du blé sur blé.  
Agriculture 384: 77-84.
- (1975 b) - Réduction du travail du sol et production agricole.  
SEI étude n°59 "la simplification des techniques de travail du  
sol pp.57-100.
- BOYELDIEU J. (1976) - Comportement variétal, et conduite  
du blé tendre en monoculture de longue durée.  
Coll.Essais de longue durée - Grignon, juil.1976.
- HUGE P.L. (1975) - Contribution à l'étude de l'influence de la mono-  
culture d'un froment sur les caractéristiques d'un sol.  
3<sup>e</sup> Conf.sur les facteurs pathogènes des monocultures de céréales.  
CRA/OEPP - Gembloux.

- HSU P., WALTON P.D. (1971) - Relationship between yield and its components and structure above the flag leave node in spring wheat. *Crop Sci.*11(2) 190-193.
- IVANOV A. (1971) - Effect of soil compaction on the growth and productivity of winter wheat. *Rast.Nauki* 8(4) 15-23 (texte en bulgare).
- IVANOVA R.G., KAZANTSEVA A.S., TUGANAEV V. (1975) - The adaptation of weed plants to certain crops. *Biol.Nauki* 18(1) 71-75 (texte en russe).
- JABLONSKI B., GANDECKI R. (1972) - Modification des propriétés physico-chimiques d'un sol léger sous l'action d'une culture simplifiée de seigle pendant trois ans, en monoculture. *Zarz.Prob.Post.Nauk.Roln.*137: 129-137 (texte en polonais).
- JACOBS W. (1973) - (Evolution of arable weed floras of loess soils on reclaimed sites with particular respect to crop rotations.) *Dissert.Inst.für Pflanz.Rhein Bonn* 157p.(texte en allemand).
- JACQUARD P., CROIZIER L., MONNIER G. (1969) - Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. I- Effets résiduels de la luzerne sur le blé et le maïs. *Ann.Agron.*20(4) 371-433.
- (1970) - Etudes sur les relations sociales dans les peuplements végétaux. *Bull.Soc.Ecologie* 2: 34-39.
- , MONNIER G., CROIZIER L. (1970) - Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. II- Effets résiduels de différents précédents sur des séquences de cultures arables. *Ann.Agron.*21(1) 5-56.
- , CROIZIER L. (1970) - Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. III- Bilan de six années d'essais sur l'étude globale des effets résiduels et de leur durée. *Ann.Agron.*21(3) 247-268.
- , LEFEVRE G. (1970) - Etude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. IV- Influence des modalités de retournement d'une prairie sur les performances d'un blé et d'un maïs. *Ann.Agron.*21(4) 351-384.
- (1975) - Concurrence intraspécifique et potentialités de rendement. *Ann.Amélior.Plantes* 25(1) 3-24.
- JAGGI I.K. et al. (1972) - Effect of bulk density and aggregate size on wheat growth. *J.Ind.Soc.Soil Sci.*20(4) 421-423.
- JAMES W.C., SHIH C.S. (1973) - Relationship between incidence and severity of powdery mildew and leaf rust on winter wheat. *Phytopathol.*63: 183-187.
- (1974) - Disease appraisal and loss. in *Proc.2nd.Intern.Congr.Pl.Pathol.*
- JEATER R.S.L. (1966) - Agronomic aspects of direct drilling. *Proc.8th.Brit.Weed Control Conf.*3: 874-883.
- JELINEK K. (1974) - Fertilisation du Blé en monoculture. *Rostl.Vyr.*20(3) 253-262 (texte en tchécoslovaque).
- JENKINS J. (1965) - The break crops in cereal growing. *J.Frms'Club* pp.171-184.
- JENKINSON D.S. (1963) - The turnover of organic matter in the soil. *Rep.FAO/IAEA, Brunswick.*
- JENSEN H.J., MULVEY R.H. (1968) - Predaceous Nematodes (*Mononchidae*) of Oregon. *Oregon State Univ., Corvallis* 57pp.
- JENSEN H.P., JORGENSEN J.H. (1970) - Studies on the take-all fungus. III- Interactions between fungal isolates and cereal species and varieties. *Yearbook Roy.Veter.Agric.Univ. Copenhagen* pp.210-220.
- JENSEN A. (1973) - Investigations on diseases in cereal monoculture in Denmark. Réunion trav. Versailles 29-30 mars 1973.
- (1975) - Danish experiences with cereals in monoculture. *Bull.OEPP* 5(2) 181-192.
- JONARD P., KOLLER J. (1951) - Les facteurs de la productivité chez le blé. *Ann.Amélior.Plantes* 2: 256-276.

- (1964) - Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre. Ann.Amélior.Plantes 14: 101-130.
- , ODENT M. (1967) - Etude sur l'évolution de l'azote au cours de la croissance de la tige principale du blé tendre. Ann.Amélior.Plantes 17(1) 23-32.
- JONES F.G.W. (1970) - Management of nematode populations in Great-Britain. Rothamsted Exp.St.Rep. for 1969 part1, 81-107.
- JOUAN B., LEMAIRE J.M. (1974) - Modifications des biocénoses du sol (I) Ann.Phytopathol.6(3) 297-308.
- JUHL M. (1975) - Cereal cyst nematode and N fertilization. Bull.OEPP.5(2) 437-448.
- KACHALOVA Z.P., YATSENKO N.D. (1974) - The effect on the infection of winter wheat by cereal foot rots. Vestnik sel'sk.Nauki 19(6) 29-32 (texte en russe).
- KÄMPF R. (1972) - (Effets de l'intensification céréalière sur la fertilité du sol.) Zeit.für Ack.und Pflanz.136(2) 139-163 (texte en allemand).
- (1974) - (Assolements à base de céréales et leurs influences sur la fertilité et l'état sanitaire des sols. Bayer.Landw.Jahr.2: 191-208 (texte en allemand).
- KANIVETS I.I., KARAMSHUK Z.P., FOMIN V.A. (1971) - Microbiological processes during decomposition of straw. Vestn.Sel'sk.Nauk.Alma-Ata 12: 18-22 (texte en russe).
- KAPOSZTA J. (1971) - Winter wheat production using crop rotation and monoculture. Baj.Jen.Buz.Kiserl.pp.93-103.(texte en hongrois).
- KEMPTHORNE O. (1952) - The designs and analysis of experiments. New York, J.Wiley & Sons Inc., 631p.
- KERRY B.R. (1975) - Fungi and the decrease of cereal cyst-nematode populations in cereal monoculture. Bull.OEPP 5(4) 353-362.
- KICK H., POLETSCHEV H. (1973) - Apport continu de paille sur une longue durée. Landw.Forschung, Sonderheft 30(11) 146-152 (allemand).
- KIEWNICK L. (1964) - Bekämpfung der Halmbruchkrankheit des Winterweizens. Mitt.der D.L.G. Sonderdruck auf Heft 2.
- KIMBER R.W.L. (1973) - (Phytotoxicité des résidus végétaux. III- L'effet relatif des toxines et de l'immobilisation de l'azote sur la germination et la croissance du blé.) Plant and Soil 38(3) 543-555.
- KLEWITZ R. (1973) - Zur Frühdiagnose bei Carcospora herpotrichoides Fron. Nach.des Deutsch.Pflanz.Schtd. 25: 33-34.
- KOCH W. (1964) - Some observations on changes in weed populations under continuous cereal cropping and with different methods of weed control. Weed Res.4(4) 351-356.
- KÖHNLEIN J., VETTER H. (1965) - Recherches sur les méthodes optimales d'emploi de la paille en tant que fumure. Zeit.für Ack.und Pflanz.122(3) 225-235 (texte en allemand).
- KOLEV D., VANCHEV N. (1967) - Façons culturales pour une culture de blé succédant à un blé. Rast.Nauki 2: 43-50 (texte en bulgare).
- KOLLER J. (1969) - L'emploi des substances nuançantes dans la culture du blé tendre. Bull.Techn.Inf.244: 771-777.
- KÖNNECKE G. (1961) - Vortragstagungen 1960-1961, Institut für Landw. Versuchs.und Untersuchungswesen. Dtsch.Akad.Landwirt.Berlin 79-80.
- KÖNNECKE G. (1967) - Fruchtfolgen. Deutsch.Landw.Berlin p.163.
- (1970) - (Problèmes de succession de cultures dans le cas d'accroissement de la part consacrée aux céréales. Albr.Thaar.Arch.14(4)385-396 (texte en allemand).
- KOS M. (1966) - Influence sur le rendement de la succession des cultures dans la rotation en fonction de fumures minérales croissantes. Rostl.Vyr.12(10) 1071-1078 (texte en tchécoslovaque).
- KOS M. (1970) - The agricultural problems of increased proportion of cereals in crop rotations. Rostl.Vyr.16(3) 265-272 (texte en tchécoslovaque).
- (1974) - Séquences culturales à haute concentration en céréales. Rostl.Vyr.20(3) 225-231 (texte en tchécoslovaque).

- KOTOVA V.V. (1975) - Control of root rots on wheat crops in URSS.  
3è Conf.OEPP Gembloux 17-19 juin 1975.
- KRASILNIKOV N.A. (1961) - in RIVIERE et CHALVIGNAC (1971).
- KRÜGER W. (1970) - (Effet de différents degrés de compaction du sol sur quelques propriétés physiques du sol et sur la croissance des plantes. Albr.Thær Arch.14(7) 613-624 (texte en allemand).
- KRZYMSKI J. et al. (1968) - Choix des cultures et son influence sur la productivité d'un sol léger en pente.  
Zesz.Nauk.Wyz.Szk.Roln.w ols.24(660) 789-812 (texte en polonais).
- KUPERS L.J.P. (1972) - Problems in monoculture.  
Bull.OEPP 6: 107-120.
- (1975) - Is the loss in field of cereals as a consequence of a narrow rotation always caused by pathogens?  
3è Conf.OEPP Gembloux 17-19 juin 1975.
- LAMBERTS D., LIVENS J. (1973) - L'évolution de la fertilité du sol en terrains limoneux. Rev.Agric. Bruxelles 4: 789-798.
- LANG R.W., HOLMES J.C. (1973) - Effects of nitrogen application at different growth stages on the yield of winter wheat.  
Exp.Husb.23: 31-36.
- LANG H. (1975) - The influence of green and straw manure and the evaluation of varieties with respect to increased Heterodera avenae infestation in various cereal crop rotations.  
3è Conf.OEPP Gembloux 17-19 juin 1975.
- LANGE DE LA CAMP M. (1966 a) - Die Wirkungsweise von Carcospora herpotrichoides Fron. dem Erreger der Halmbruchkrankheit des Getreides (I). Phycopathol.Z. 55: 34-66.
- (1966 b) - Die Wirkungsweise von Carcospora herpotrichoides Fron. dem Erreger der Halmbruchkrankheit des Getreides(II). Phycopathol.Z. 56: 363-392.
- , LEHMANN H. (1969) - Über eine Möglichkeit zur Verminderung der Halmbruchkrankheit in der landwirtschaftlichen Praxis. Kühn-Archiv 83: 215-236.
- LARGE E.C. (1954) - Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. Plant Pathol.3: 128-129.
- LEDINGHAM R.J. (1970) - (Effet de la paille et de l'azote sur la fusariose du blé. Canad.J.of Pl.Sci.50(2) 175-179 (en anglais).
- LEFEBVRE (1968) - L'azote et les matières organiques.  
Bull.Techn.Inf.23: 559-572.
- LEFEBVRE G. (1969) - Observations sur les variations simultanées des teneurs en eau et en azote minéral d'un sol.  
Ann.Agron.20(6) 627-638.
- LEMAIRE J.M., COPPENET M. (1968) - Influence de la succession céréalière sur la gravité du piétin-échaudage.  
Ann.Epiph.19: 589-599.
- LEMAIRE J.M., JOUAN B. (1969) - Mise au point sur le piétin échaudage des céréales. Bull.Techn.Inf.813-818.
- , LAPIERRE H., JOUAN B., BERTRAND G. (1970) - Découverte de particules virales chez certaines souches d'Ophiobolus graminis agent du piétin-échaudage des céréales.  
C.R.Acad.Agric.56: 1134-1138.
- , JOUAN B. (1973) - Perspectives de lutte biologique contre les parasites des céréales d'origine tellurique.  
C.R.Journ.Et. ITCF Versailles 28 février 1973.pp.65-84.
- , DOUSSINAULT G., JOUAN B., TIVOLI B. (1975) - La lutte contre les maladies des céréales par des moyens biologiques.  
Bull.Techn.Inf.297: 195-200.
- (1976) - in C.R. Action concertée ONIC-INRA-ITCF, centre de Rennes 62 p.
- LEMEE G. (1967) - in Oecol. Plant 2(4) p.285.
- LEROUX P. (1973) - Mode d'action des fongicides utilisés sur céréales.  
C.R.Journ.Et. ITCF Versailles 28 février 1973.pp.85-106.
- (1975) - Aperçu sur les propriétés des fongicides et insecticides utilisables sur céréales.  
Bull.Techn.Inf.297: 181-190.

- LESCAR L. (1973) - La destruction des chiendants.  
C.R. 7<sup>e</sup> Conf. du COLUMA pp.936-943.
- , BOUCHET F., POUSSARD C. (1973) - Trois années de lutte contre les maladies des organes aériens du blé tendre d'hiver.  
C.R.Journ.Et. ITCF Versailles 28 février 1973 pp.211-226.
- (1975) - Intérêt des traitements fongicides en cours de végétation du blé tendre d'hiver.  
C.R.Journ.Et. ITCF Versailles 14 janvier 1975 pp.181-187.
- LESTER E. (1969) - Disease problems in continuous cereal growing.  
Agric.Progr.44: 78-84.
- LEWIS D.G. (1963) - Partial inhibition of nitrate production by products of the mineralization of soil organic matter.  
J.Agric.Sci.61: 349-352.
- LIBOIS A. (1968) - Dynamique de l'azote minéral en sol nu.  
Ann.Agron.19(2) 103-128.
- LIMONOV A.F. (1974) - The change in the humus content of a dermo-podzolic sandy loam soil after two cycles of an eight-course flax rotation. *Soils and Fertil.*37(10)p.288.
- LINAIS B., LESCOAR L. (1973) - Etude de l'incidence de traitements fongicides sur la valorisation de la fumure azotée par différentes variétés de blé d'hiver.  
C.R.Journ.Et. ITCF Versailles 28 février 1973 pp.227-232.
- (1975) - Les variétés actuelles de blé tendre d'hiver.  
C.R.Journ.Et. ITCF Versailles 14 janvier 1975 pp.88-120.
- LOCKE L.F., MATHEWS O.R. (1953) - Relation of cultural practices to winter wheat production, Southern Great Plains Field Station OKLA.  
Circ.917 U.S. Dep.Agric.pp.54.
- LOCKHART D.A.S., HEFFEL V.A.F., HOLMES J.C. (1975) - Take-all, Incidence in continuous Barley growing, and effect of tillage methods.  
Bull.OEPP.5(4) 375-384.
- LONGCHAMP R., FAIVRE-DUPAIGRE R., GAUTHERET R. (1959) - Remarques sur l'évolution des populations de plantes adventices.  
C.R.Acad.Sci. 248: 1078-1081.
- LOOMIS A.S., WILLIAMS W.A., HALL A.E. (1971) - Agricultural productivity.  
Ann.Rev.Pl.Physiol.22: 431-468.
- LOUVET J. (1973) - Méthodes de recherche des agents pathogènes dans les sols. 5<sup>e</sup> Coll.Soc.Franç.Phytopathol.- Ann.Phytopath.5(3) 294.
- LUPTON (1966 et 1969) - cité par THORNE G.N. (1974).
- MACER R.C.F. (1961 a) - Saprophytic colonization of wheat straw by Cercospora herpotrichoides Fron. and other fungi.  
Ann.Appl.Biol.49: 152-164.
- (1961 b) - The survival of Cercospora herpotrichoides Fron. in wheat straw. Ann.Appl.Biol. 49: 165-172.
- Mc CRIMMON P.R. (1969) - Le semis direct des céréales 1961-1968.  
Coll.d'information scientifique "culture sans labour"  
C.R.A.Gembloux 1969.
- Mc DURDY E.V., MOLBERG E.S. (1974) - Effets de l'emploi continu du 24D et du MCPA sur la production du blé de printemps, et sur les populations de mauvaises herbes.  
Canad.J.Pl.Sci.54(2)241-245 (texte en anglais).
- Mc INTOSH A.H. (1970) - Seed dressing and soil borne diseases.  
Rothamsted Exp.St.Rep.for 1970 part 1p.136.
- Mc NISCH G.C., DODMAN R.L. (1973) - Incidence of Gaeumannomyces graminis var. tritici in consecutive wheat crops.  
Austr.J.Biol.Sci.26(6)1301-1307.
- MAENHOUT C.A.A.A. (1975) - Eyespot in winter wheat: effect of crop rotation and tillage, and the prediction of incidence.  
Bull.OEPP 5(4) 407-414.
- MAIA Nicole (1967) - Obtention de blés tendres résistants au piétin-verse par croisements interspécifiques.  
C.R.Acad.Agric.53: 149-154.
- MANUCA (1967) - in CASSINI R. (1973) .
- MARKOVA J. (1969) - Influence des précédents à blé dans l'assolement, sur la microflore du sol.  
Pochv.Agrokh.4(2) 77-84. (texte en bulgare).

- MARTY J.R., FIORAMENTI S. (1970) - Comparaison de diverses rotations sur sol limoneux mal structuré; effets améliorant des cultures fourragères. *Ann.Agron.*21(3) 269-286.
- , HILAIRE A. (1972) - Les arrière-effets. Comment raisonner les techniques culturales en tenant compte des précédents culturaux et de l'irrigation. *Entrepr.Agric.* 39: 54-58.
- MAYLOR R.E.L. (1972) - Nature de l'interférence d'Alopecurus myosuroides sur la croissance du blé d'hiver et ses conséquences. *Weed Res.*12(2) 137-143.
- MAYNADIER M.H., et al. (1973) - Essais de lutte contre les folles avoines dans le blé tendre d'hiver. *C.R. 7è Conf.COLUMA* pp.349-373.
- MENZIES J.D. (1963) - L'évaluation directe des populations pathogènes dans le sol. *Ann.Rev.Phytopathol.*1: 127-139 (texte en anglais).
- MESSIAN C., MAS P., BEYRIES A., VENDRAN H. (1965) - Recherches sur l'écologie des champignons parasites dans le sol. *Ann.Epiph.*16(2) 107-128.
- MIELKE H. (1970) - Befallstoleranz und Halmbruchresistenz verschiedener Weizensorten gegen Cercosporella herpotrichoides Fron. *Z.Pflanzenzücht.*64: 248-288.
- MILIC M. ( ) - Effet de différentes rotations de cultures sur la présence de plantes adventices pérennes. *Arhiv za Poljopr.Nauku* 17(56) 3-12 (texte en yougoslave).
- MONNIER G. (1965) - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Ann.Agron.*16(5) 471-532.
- MOZSIK L., SALLAI J. (1968) - Recherches sur l'origine des diminutions de rendement dans la monoculture de blé. *Növénytermelés* 17(2) 101-109 (texte en hongrois).
- MUKHOPADHYAYA M.C., PRASAD S.K. (1969) - Nematodes as affected by rotations and their relation with yield of crops. *Indian J.Agric.Sci.*39(4) 366-385.
- MULLER P. (1962) - Verträglichkeitsbeziehungen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Blickfeld neuer Forschungsergebnisse. *Dtsch.Landw.*13(2) 72-75.
- MULLVERSTEDT R. (1962) - in BARRALIS G. (1969).
- MUNDY E.J. (1966) - Continuous cereal growing. *Exp.Husb.* 7th. Progr.Rep. pp.74.
- (1969) - Twelve years of continuous barley cropping. *Exp.Husb.*18: 91-101.
- , SELMAN M. (1974) - Intensification of cereals. Cereal monoculture: duration and nitrogen rate- 1: winter wheat. *Exp.Husb.*25: 22-40.
- MYSKOW W., TOBOLSKA H. (1965) - Activité biologique d'un sol auquel on ajoute des résidus végétaux. *Pamiętnik Pulawski* 18: 351-366.
- NABER H., DORD D.C. VAN (1975) - Persistance de l'éthofumésate dans le sol. 3è Réunion Intern."Désherbage sélectif en cultures de betteraves". Paris- pp.255-262.
- NAWROCKI S., KUS J. (1973) - Winter wheat yields as affected by the preceding crop and rate of application of mineral fertilizer. *Pamiętnik Pulawski* 58: 11-24 (texte en polonais).
- NILSSON H.E. (1969) - Studies of root and foot rot diseases of cereals and grasses. 1- On resistance to Ophiobolus graminis Sacc. *Ann.Agric.Coll.Sweden* 35: 275-307 (texte en suédois).
- (1973) - Varietal differences in resistance to take-all disease of winter wheat. *Swedish J.Agric.Res.*3:89-93 (en suédois).
- (1973) - Influences of herbicides on take-all and eye-spot disease of winter wheat in a field trial. *Swedish J.Agric.Res.*3(3) 115-118 (texte en suédois).
- NOVAK B. (1974) - Effet de l'azote sur la minéralisation de la paille dans le sol. *Rostl.Vyr.* (texte en tchécoslovaque)
- NUSBAUM C.J., BARKER K.R. (1971) - in NUSBAUM et FERRIS (1973).
- , FERRIS (1973) - The role of cropping systems in Nematode population management. *Ann.Rev.Phytopathol.* pp.423-440.

- OOSTENBRINK M. (1964) - Harmonious control of Nematode infestation. *Nematologica* 10: 49-56.
- (1972) - Evaluation and integration of nematode control methods. *Econ.Nematology*
- (1972) - Evaluation and integration of nematode control methods. *Economic Nematology* - ed.J.W.WEBSTER,497-514. Acad.:New York & London.563p.
- OBST A., GRAF R. (1976) - Investigations on a directed control of glume blotch Septoria nodorum of wheat. *Coll.Gembloux* 8 sept.1976.
- PAPAVIZAS G.S. (1975) - Crop residues and amendments in relation to survival and control of root-infecting fungi: an introduction. *Biology and Control of soil-borne plant pathogens American Phytopathol.Soc. St Paul-Minnesota-1975-* p.76.
- PAPP E. (1969) - The effect of non-rotational crop growing on the nutrient status of soil. *Delalf.Mezög.KisérI.Int.Kzi* 6: 107-116 (texte en hongrois).
- PARK D. (1963) - The ecology of soil-borne fungal disease. *Ann.Rev.Phytopathol.*1: 241-253.
- PATRICK Z.A. (1971) - Substances phytotoxiques associées à la décomposition de résidus de plantes dans les sols. *Soil Sci.*3(1) 13-18 (texte en anglais).
- PEKARY K. (1971) - A comparison of yields of winter wheat grown in rotation, biculture and various cereal monocultures, under different conditions of nutrient supply. *Baj.Jen.Buz.Kiserl.pp.*197-207.(texte en hongrois).
- PEQUIGNOT R., RECAMIER A. (1961) - Quelques résultats à propos des assolements céréaliers. *C.R.Acad.Agric.*6: 337-343.
- (1965) - Utilité de rompre un assolement céréalier par d'autres cultures. *C.R.Acad.Agric.*6: 389-399.
- PERRET J. (1971) - in "Les nématodes des cultures" éd. ACTA pp.293-325.
- PETERSEN H.I. (1971) - Continued cereal cropping and the danger of cereal diseases. *Dansk Landbrug* 3: 4-8 (texte en danois).
- PETERSON G.H. (1962) - in BOULLARD et MOREAU (1962).
- PETERSON C.A., EDGINGTON L.V. (1970) - Transport of the systemic fungicide, benomyl, in bean plants. *Phytopath.*60:475-478.
- POGORELOVA L.G., KORNILOVA V.V. (1973) - Rôle du précédent cultural dans la diminution de l'infection par le piétin-échaudage. *Zash.Rast.*12(16) (texte en russe).
- PONCHET J. (1958) - La prévision des épidémies du piétin-verse Cercospora herpotrichoides Fron. *Phytiatrie-Phytopharm.*7:133-144
- (1959) - La maladie du piétin-verse des céréales . Importance agronomique, biologie, épiphytologie. *Ann.Epiphyt.*10:45-98.
- , COPPENET M. (1962) - Influence de divers facteurs culturels sur le développement du piétin-échaudage. *Ann.Epiphyt.*13(4) 285-291.
- POPE A.M.S., JACKSON R.M. (1973) - Effect of wheat field soil on inocula of Gaeumannomyces graminis Sacc. Arx& Olivier var. tritici J.Walker in relation to take-all decline. *Soil Biol.& Bioch.*5(6) 881-890.
- POPOV P., KOLEV D., VANCHEV N. (1968) - La culture du blé sur blé. *Nauch.Trud.Vishh.Selsk.*17(1) 15-23 (texte en bulgare).
- POWELSON R.L., ROHDE C.R. (1972) - The influence of date of seeding on control of Cercospora foot rot with benomyl. *Plant Dis.Rep.*56: 178-180.
- PREW R.D. (1972) - Spread of take-all. *Rothamsted Exp.Stat.Rep.for 1972 part 1* p.136.
- PUCKRIDGE D.W. (1963) - cité par THORNE G.N. (1966).
- RAO C.R. (1966) - Linear statistical inference and its application. New York, John Wiley & Sons, Inc.522p.
- RAPILLY F. (1970) - in *Phytiatrie-Phytopharmacie* 19: 185-203.
- , FOUCAULT B. (1972) - Détermination de la date optimale d'application par voie aérienne, de fongicides pour lutter contre Cercospora herpotrichoides. *Phytiat.-Phytopharm.* n°sp. 113-117.

- 100 -
- (1973) - Importance relative des maladies des céréales dans les assolements intensifs.  
C.R.Journ.Et. ITCF - Versailles 28 février - pp.3-14.
  - , FOUCAULT B., LACAZEDIEUX J. (1973) - Etudes sur l'inoculum de *Septoria nodorum* Berck. agent de la septoriose du blé.  
Ann.Phytopathol.5(2) 131-142.
  - (1975) - Principes de protection phytosanitaire du blé vis-à-vis des parasites cryptogamiques.  
C.R.Journ.Et. ITCF Versailles 14 janvier pp.166-177.
  - , D'AGUILAR J., CHAMBON J.P. (1975) - Les traitements en végétation. Bull.Techn.Inf.297: 173-180.
  - et al. (1975) - Appréciation des pertes de rendement du blé et de l'orge provoquées par les parasites cryptogamiques en fonction de techniques d'exploitation.  
3è Conf. sur les facteurs pathogènes des monocultures de céréales CRA/OEPP Gembloux 17-19 juin.
- RAWSON H.M. (1970) - Spikelet number ,its control and relation to yield per ear in wheat.  
Australian J.of Biol.Sci.23: 1-15.
- (1971) - An upper limit for spikelet number per ear in wheat as controlled by photoperiod.  
Australian J.Agric.Res.22(4) 537-546.
  - , HOFSTRA G. (1969) - Translocation and remobilisation of <sup>14</sup>C assimilated at different stages by each leaf of the wheat plant.  
Australian J.of Biol.Sci.22: 321-331.
- REBISCHUNG J. (1969) - Perspectives d'évolution des techniques de culture, liées à l'emploi des herbicides.  
C.R.COLUMA - Herbicides et techniques de cultures. pp.301-326.
- RECAMIER A. (1964) - Observations sur l'extension des dégâts de la mouche grise du Blé au Centre National d'Expérimentation et étude de certains moyens de lutte.  
C.R.Acad.Agric.9: 773-779.
- , FOURBET J.F., HUET Ph. (1969) - C.R.Activité SEI- Grignon.
  - (1973) - Résultats des monocultures céréalières et rôle des agents pathogènes.  
Réunion de travail sur le "rôle des organismes pathogènes dans les rotations céréalières". Versailles 29-30 mars 1973.
  - , FOURBET J.F., HUET Ph. (1974) - La section SEI de Grignon.  
Ouvrage édité à l'occasion du Xè anniversaire du SEI. pp.89-107.
  - (1975) - La diminution du travail en agriculture et le travail minimum du sol. SEI Etude n° 59 pp.205-210.
- REINMUTH E., SEIDEL D. (1966) - Die Bedeutung des antiphytopathogenen Potentials im Rahmen der Bodenhygiene.  
Nach.Dtsch.Pflanzenschutz. Berlin 20: 5.
- (1970) - Quelques reflexions sur l'hygiène des sols considérée sous l'angle phytosanitaire.  
Arch.für Pflanz.6(3) 185-194. (texte en allemand).
- RIXHON L. (1967) - Rotations et assolements. C.R.Activité Gembloux p.16
- RIXHON L. (1972) - Rotations et assolements.  
Rapp.Activ.Stat.Phytotecnie Gembloux pp.35-62.
- (1973) - Etude de l'adaptation de la fumure azotée des cultures succédant à divers précédents culturaux.  
C.R.Activité Gembloux 1966-71 pp.57-61.
  - , PARMENTIER G. (1973) - Relations entre les symptômes de verse et d'échaudage et les chutes de rendement en froment d'hiver dans des essais sur rotation.  
Parasitica 29(3) 119-128.
  - , CROHAIN A. (1975) - 3è Conf. sur les facteurs pathogènes des monocultures de céréales. OEPP, Gembloux 17-19 juin.
- RIVIERE J. (1960) - La rhizosphère du blé. Ann.Agron.11(4) 397-440.
- (1966) - Rhizosphère et croissance du blé.  
Ann.Agron.14: 619.
  - , CHAUSSAT R. (1966) - Destruction de la coumarine dans la rhizosphère. Ann.Inst.Pasteur 111,suppl.n°3 p.155.
  - , FROUARD Y., CATROUX G. (1970) - Influence d'enfouissements répétés de tiges de maïs sur la microflore bactérienne des sols.  
Ann.Agron.21(4) 403-420.

- , CHALVIGNAC M.A. (1971) - La rhizosphère.  
La vie dans les sols- Gauthier-Villars éd. Paris pp.391-413.
- RIVOAL R. (1973) - Etude de la nuisibilité du Nématode à kystes des racines de céréales (Heterodera avenae Woll.) en France, et des causes de sa variabilité. C.R.Acad.Agric.59(12) 959-970.
- (1975) - La Nématode à kystes des céréales, Heterodera avenae, en France: nuisibilité, caractéristiques biologiques, et perspectives de lutte.  
3è Conf. sur les facteurs pathogènes des monocultures de céréales. OEPP, Gembloux 17-19 juin.
- ROBINSON J.B.D. (1968) - A simple available soil nitrogen index. J.Soil Sci.19: 269-290.
- ROVIRA A.D. (1965) - Plant root exudates and their influence upon soil microorganisms. Ecology of soil-borne plant pathogens- Prelude to biological control. K.F.BAKER & W.C.SNYDER ed.- Berkeley Univ. California Press.pp.170-186.
- ROBINSON J.B.D. (1969) - A simple available soil nitrogen index. Journ.of Soil Sci.19(2) 269-279.
- ROWSELL J. (1967) - Break crops for wheat and barley. Rep.and Proc.21st. Oxford Farm Conf. pp.136-148.
- SANFORD G.B. (1933) - cité par PARK D. (1963).
- SAVARY A. (1957) - Les problèmes de nématodes dans les cultures de céréales. Rev.Romande Agric.Vitic.Arboric.13: 93.
- SCHAEKE B. (1973) - Capacité de rétention comme composante de l'effet du précédent. Ack.und Pflanz.und Boden.17(6) 463-468 (en allemand).
- SCHAREN A.L. (1966) - Cyclic production of pycnidia and spores in dead wheat tissues by Sectoria nodorum. Phytopathol.56: 580-582.
- SCHEFFE H (1967) - The analysis of variance. New York, John Wiley & Sons, Inc.(5th printing) 477p.
- SCHNEIFLUG H. (1964) - Untersuchungen über den Infektionsmodus von Cercospora herpotrichoides Fron bei der Primärinfektion. Phytopathol.Z.50: 43-61.
- SCHMIDT H.H. (1971) - Observations sur le phénomène de déclin des maladies du pied, dans les monocultures. Arch.für Pflanzensch.7(2) 109-118.(texte en allemand).
- SCHNIEDER E. (1963) - (Growth and yield of spring barley in monocultures on light soil). Albr.Thær.Arch.7(9) 741-750.(en allemand).
- SCHONROK-FISCHER R., SCHWABE L. (1973) - (Possibilités de réduction des pertes de rendement dues aux nématodes en culture céréalière intensive.) Arch.für Ack.und Pflanz.und Boden 17(6) 449-455 (texte en allemand).
- SCHRÖDTER H., FEHRMANN H. (1971 a) - Ökologische Untersuchungen zur Epidemiologie von Cercospora herpotrichoides (II). Phytopathol.Z.71: 97-112.
- , - (1971 b) - Ökologische Untersuchungen zur Epidemiologie von Cercospora herpotrichoides (III). Phytopathol.Z.71: 203-222.
- SCHROTH M.N., HILDEBRAND D.C. (1964) - Influence of plant exudates on root-infecting fungi. Ann.Rev.Phytopathol.2: 101-132.
- SCHULZ F.A. (1968) - Untersuchung über den Einfluss der Gründüngung auf die Halmbruchkrankheit des Weizens. Phytopathol.Z.62: 127-205.
- SCHULZ H. (1975) - Possibilities for warning service for chemical control of Cercospora herpotrichoides.  
3è Conf. sur les facteurs pathogènes des monocultures de céréales. OEPP, Gembloux 17-19 juin.
- SCHWERDTE F., KOCH W. (1967) - Auftreten von Unkräutern und Krankheiten bei Getreide und Mais nach Direktsaat. Mitt.Biol.Bundesamt Land.und Forstw. Berlin- Dahlem 121: 215-217.
- SCHWERDTLE F. (1971) - (Trials on direct-sowing methods in comparison with conventional cultivation of various crops with particular regard to the weed flora).  
KITBL- Beichte über Landtechnik n°19 139 p. (texte en allemand).
- (1975) - (Importance of Agropyron repens for the yield of cereals). Zeit.für Pflanz.und Pflanzensch.7: 39-45.(allemand).

- SCOTT P.R. (1973) - Incidence and effects of Septoria nodorum on wheat cultivars. *Ann.Appl.Biol.*75(3) 321-329.
- , HOLLINS T.W. (1974) - Effects of eyespot on the yield of winter wheat. *Ann.Appl.Biol.*78(3)269-279.
- , et al. (1975) - in VANDAM J. (1975).
- SEARLE S.R. (1966) - Matrix algebra for the biological sciences. New York, John Wiley & Sons, Inc. 296p.
- SEBILLOTTE M. (1968) - Stabilité structurale et bilan hydrique du sol. Influence du climat et de la culture. *Ann.Agron.*19(4) 403-414.
- , MANICHON H. (1973) - La monoculture du maïs. ronéo Chaire d'Agriculture INA P.G.
- SEINHORST J.W. (1967) - The relationships between population increase and population density in plant parasitic nematodes. *Nematologica* 13: 429-442.
- (1970) - Dynamics of populations of plant parasitic nematodes. *Ann.Rev.Phytopathol.*10: 131-156.
- SELMAN M. (1971) - Continuous winter wheat. *Agri ulture UK* 78(9)385-390.
- SETTLER S. (1971) - in VEZ A. (1975).
- SHIPTON P.J. (1972) - Influence of stubble treatment and autumn application of nitrogen to stubbles on the subsequent incidence of take-all and eyespot. *Pl.Pathol.*21(4) 147-155.
- (1972) - Take-all in spring-sown cereals under continuous cultivation: disease progress and decline in relation to crop succession and nitrogen. *Ann.Appl.Biol.*71: 33-46.
- (1975) - Yields trends during take-all decline in spring barley and wheat grown continuously. *Bull.OEPP* 5(4) 363-374.
- SHIPTON W.A., BOYD W.R., ROSIELLE A.A., SHEARER B.I. (1971) - The common Septoria diseases of wheat. *Botan.Rev.*37(2) 231-262.
- SIMON Ginette (1960) - L'enfouissement des pailles dans le sol. Etudes générales et répercussions sur la microflore du sol. *Ann.Agron.*11: 5-53.
- SINGLE W.V. (1964) - in *Austral.J.of Exp.Agric.and An.Husb.*4: 165-168.
- SLOPE D.B. (1967) - Disease problems in intensive cereal growing. *Ann.Appl.Biol.*59: 317-319.
- , ETHERIDGE J. (1971) - Grain yield and incidence of take-all (Ophiobolus graminis Sacc.) in wheat grown in different crop sequences. *Ann.Appl.Biol.*67(1) 13-22.
- , et al. (1973) - Grain yield and the incidence of take-all and eyespot in winter wheat grown in different crop sequences at Saxmundham. *Rothamsted Exp.St.Rep.for 1972 part 2.*
- SMUKALSKI M. (1972) - (On effect of catch crop growing for green manuring and fodder on the grain yield and NPK content of the grain in rotations with an increased proportion of combine harvested crops. *Arch.für Ack.und Pflanz.und Boden.*16(12)933-941 (allemand).
- SNYDER W.C., NASH SHIRLEY M. (1968) - Relative incidence of Fusarium pathogens of cereals in rotations plots at Rothamsted. *Trans.Br.Mycol.Soc.*51: 417-425.
- SOGN L., ØRUD I. (1967) - (Rotations trials) - *Norsk Landbr.*10:18-19.
- SOUTHWOOD T.R.E., WAY M.J. (1970) - Ecological background to pest management. *Concepts of pest management* - Eds.R.L.Rabb, F.E.Guthrie. 6-29. N.C.State Univ.Raleigh 242p.
- SPEEDING C.R.W. (1971) - Agricultural ecosystems. *Outlook Agric.*6: 242-247.
- SPIERTZ J.H.J. (1973) - Effects of successive applications of maneb and benomyl on growth and yield of five varieties of different heights. *Netherlands Journ.of Agric.Sci.*21(4) 282-296.
- SPRAGUE R.D. (1950) - Diseases of cereals and grasses in North America. Ronald Press Co. New York. 638 p.
- SRIVASTAVA V.B., TEWARI R.P., MISHRA R.R. (1970) - in CASSINI R. (1973).
- STARKEY R.L. (1929) - in RIVIERE J. (1960).

- STOJANOVIC M., ZIKIC M. (1971) - Investigations into the effect of monoculture and rotation on yields of wheat and maize. Arh.Poljop.Nauka 24(85) 26-36.
- STØLEN O. (1967) - Problems with continuous cereal cultivation. B.P.Nyhedstjeneste 56: 2-19 (texte en danois).
- STOREY I.F. (1947) - Observations on take-all and eyespot diseases of wheat in Yorkshire. Ann.Appl.Biol.34: 546.
- STRATULA V., IONESCU F., COIFAN M., POP L. (1968) - Aspects concerning the crop rotation in the zone of brown-reddish forest soil from Simnic-Craiova. Probleme Agric.20(10) 27-38. (texte en roumain).
- STRNAD P. (1970) - Repeated growing of spring barley in a cereal monoculture. Rostl.Vyroba 16(3) 273-278 (texte en tchécoslovaque).
- (1974) - A comparison of productivity of crop rotations with different concentrations of cereals. Rostl.Vyroba 20(3) 207-216 (texte en tchécoslovaque).
- STUANES A. (1972) - Long-term changes in the weed flora. Norsk Landbruk 4: 3-8 (texte en norvégien).
- SURLEKOV N. (1972) - Biological autotolerance of several vegetable crops and their feasibility of their monoculture. Mezhd.Sel'sk.Zh.3: 52-55 (texte en russe).
- TALAFANTOVA A. (1974) - Results of a pedological study concerning the increasing concentration of cereals on chernozem soil. Humus and nitrogen contents of the soils. Rost.Vyroba 20(3) 241-252 (tchecosl.)
- THOMPSON L.G., ROBERTSON W.K. (1967) - Soil management studies on Norfolk loamy fine sand. I - Effect of crop rotations and limestone on crop yields and soil fertility. Proc.Soil and Crop Sci.Soc.of Florida 27: 268-280.
- THORNE G.N. (1966) - Physiological aspects of grain yield in cereals. in The growth of cereals and grasses. Ed.F.L. Milthorpe & J.D. Ivins. London: Butterworth pp.88-105.
- , BLACKLOCK J.C. (1971) - Effects of plant density and nitrogen fertiliser on growth and yield of short varieties of wheat derived from Norin 10. Ann.Appl.Biol.68: 93-111.
- (1974) - Physiology of grain yield of wheat and barley. Rothamsted Exp.St.Rep.for 1973 part 2 pp.5-25.
- TITOW J.Z. (1973) - Symposium on soil responses to a long periods under uniform management. J.Sci.Food Agric.24(9) 1147-1151.
- TIVOLI B., LEMAIRE J.M., JOUAN B. (1974) - Prémunition du blé contre *Ophiobolus graminis* Sacc. par des souches peu agressives du même parasite. Ann.Phytopathol.6(4) 395-406.
- TROCME S.,(1976) - La fumure phosphatée et potassique des céréales. Conf. Gembloux- 8 septembre 1976.
- TROTET M. (1975) - Méthodes d'amélioration de la résistance à la septoriose chez le blé tendre. 3è Conf. sur les facteurs pathogènes des monocultures de céréales. CRA/OEPP 17-19 juin. Gembloux.
- TUCKER B.B., COX M.B., ECK H.V. (1971) - Effects of rotations, tillage methods and N fertilization on winter wheat production. Agron.J.63(5) 699-702.
- UNGER P.W. (1968) - Soil organic matter and nitrogen changes during 24 years of dry-land wheat tillage and cropping practices. Soils and Fertilizers 31(6) 3825-4639.
- UOTI J. (1975) - Occurrence and pathogenicity of *Fusarium* species in cereals in Finland. Bull.OEPP 5(4) 419-424.
- VANDAM J. (1975) - Amélioration de la résistance du Blé au piétin-verse, *Cercospora herpotrichoides* Fron. Bull. OEPP.5(4) 385-394.
- VAN DER PLANCK J.E. (1974) - Résistance des plantes aux maladies. Ed.française- Conseil Intern. de la langue française.Paris.223p.
- VAN DER SPEK J. (1975) - The primary infection of wheat by *Cercospora herpotrichoides* Fron. Fac.Landb.Rijk.Gent - Deel I: 587-595.

- VASILEV A. (1971) - Possibilités de la limitation de l'influence négative de certains précédents.  
Rast.Nauki 8(3) 87-93 (texte en bulgare).
- VENTURA E. (1969) - Le traitement chimique des semences de Blé.  
Bull.Techm.Inform.244: 871-874.
- (1975) - Traitements des semences et du sol en culture céréalière. Bull.Techm.Inform.297: 161-172.
- VERMA P.R., MORRALL R.A.A., TINLINER R.D. (1973) - Root rot disease of wheat in a cultivated ecosystem.  
Techn.Rep.Matador Proj.-Univ. Saskatchewan n°30-221p.
- VETTER H., SCHÖNEICH G. (1969) - Sommerweizen-Monokultur im Vergleich zu Sommerweizen in Fruchtfolge.  
Schrift.der Univ. Kiel, n°45- Verlag Parey Hamburg 1969.
- VEZ A. (1964) - Problèmes d'assolement dans les fermes sans bétail.  
Rech.Agron.Suisse 3: 34-41.
- (1966) - Examen de la valeur du précédent cultural du froment dans un assolement chargé en céréales.  
Agric.Rom. 5: 21-24.
  - (1966) - Rotation des cultures et fatigue du sol.  
Agric.Rom.5(9) 88-90.
  - (1968) - Examen de l'influence de la date de semis et de l'application de CCC sur un froment en "répiage".  
Agric.Rom. 7:2-3.
  - (1969) - Examen de divers types de rotation sur l'état sanitaire et les rendements du blé.  
Rev.Suisse Agric.1:38-41.
  - (1969) - Densité de semis et fumure azotée du froment.  
Rev.Suisse Agric.1(5) 116-118.
  - (1971) - Influence de la date de semis sur le rendement du froment d'automne.  
Rev.Suisse Agric.3: 87-92.
  - (1972) - Examen de l'utilité du déchaumage dans les rotations chargées en céréales.  
Rev.Suisse Agric.4: 96-99.
  - , GINDRAT D. (1973) - Lutte contre le piétin-verse (II)  
Rev.Suisse Agric.5(3) 71-75.
  - (1974) - Influence de la période de semis en automne sur le développement et le rendement du blé.  
Rev.Suisse Agric.6(6) 177-183.
  - (1975) - Essai en vue d'atténuer les effets de la monoculture par l'application de diverses méthodes culturales.  
Rev.Suisse Agric.7(5) 153-158.
  - (1976) - Evolution des systèmes de culture et techniques nouvelles de production des céréales.  
Coll.Gembloux sept.1976.
  - , GINDRAT D. (1976) - Opportunité de la lutte chimique contre le piétin-verse du blé.  
Rev.Suisse Agric.8(2) 33-38.
- VIENNOT-BOURGIN G. (1964) - Interactions entre champignons parasites telluriques et les autres organismes composants de la rhizosphère.  
Ann.Inst.Pasteur 107, suppl.n°3 p.21.
- VINCENT A., PONCHET J., KOLLER M. (1951) - Recherche de variétés de blé tendre peu sensibles au piétin-verse.  
Ann.INRA, série B.2è année n°3.
- VOROB'EV S.A., LYKOV A.M. (1973) - Importance of plants and fertilizers in the organic matter balance of derno-podzolic soil.  
Vest.Sel'.Nauki 4:34-42 (texte en russe).
- VRKOC F. (1974) - Quelques résultats sur la culture continue des céréales sur des sols bruns, pendant onze années.  
Rost.Vyr.20(3) 217-223.(texte en tchécoslovaque).

- WALKER J. (1972) - Type studies on Gaeumannomyces graminis and related fungi. *Trans.British Mycol.Soc.*58: 427-457.
- , SMITH A.M. (1972) - Leptosphaeria narnari and L. korrae spp.nov., two long-spored pathogens of grasses in Australia. *Trans.British Mycol.Soc.*58: 459-466.
- WALKER J.C. (1975) - Breeding for resistance to soil-borne pathogens. *Biology and control of soil-borne pathogens - The American Phytopathol.Soc. - St.Paul, Minnesota.* p.165.
- WALLACE R.H., KING H. de L. (1956) - in RIVIERE et CHALVIGNAC (1971).
- WALTER J. (1971) - The effect on winter wheat from wheat competition (Alopecurus myosuroides and Apera spicaventi) and herbicides (urea and triazine compounds), as well as the spread of the two grasses in the German Federal Republic. *Dissertation Univ.Hohenheim* 75p. (texte en allemand).
- WATSON D.J. (1952) - The physiological basis of variation in yield. *Adv.in Agron.* 4:101-145.
- , THORNE G.N., FRENCH S.A.W. (1963) - Analysis of growth and yield of winter and spring wheats. *Ann.of Botany* 27: 1-22.
- WEBB R.M., CORBETT D.C.M. (1973) - The effect of phorate on nematode population in wheat grown continuously on ploughed and unploughed soil. *Soil Biol.& Biochem.*5(5) 585-591.
- WEBLEY D.M. et al. (1965) - in DOMMERGUES Y. et MANGENOT F. (1970).
- WELBANK P.J. et al. (1965) - in THORNE G.N. (1966).
- WELBANK P.J., GIBB M.J., TAYLOR P.J., WILLIAMS E.D. (1974) - Root growth of cereal crops. *Rothamsted Exp.St.Rep.for 1973 part 2* pp.26-66.
- WICKE H.J. (1970) - Rendement et structure du rendement des céréales en fonction de leur fréquence dans la rotation. *Albr.Thaeer.Arch.*14(4) 377-384 (texte en allemand).
- WILHELM S. (1965) - Analysis of biological balance in natural soils. *Ecology of soil-borne plant pathogens - Eds.K.F.Baker,W.C.Snyder* 509-517. *Univ.Calif.Berkeley.* 571p.
- WILKINSON B. (1964) - Continuous cereal growing. *Agriculture (UK)* 7: 162-166.
- WILLIAMS E.D. (1973) - A comparison of the growth and competition behaviour of seedling and plants from rhizomes of Agropyron repens and Agrostis gigantea. *Weed Res.*13(4) 422-429.
- WILLIAMS L.E., SCHMITTHENNER A.F. (1960) - Effect of growing crops and crop residues on soil fungi and seedling blights. *Phytopathol.*50: 22-25.
- , - (1962) - Effect of crop rotation on soil fungus populations. *Phytopathol.*52: 241-247.
- WILSKI A. (1975) - The present day aspects of growing cereals in monoculture. *Nowe Roln.*24(2) 16-18 (texte en polonais).
- WINTER A., SCHOENBECK F. (1957) - Untersuchungen über den Einfluss von Stickstoff auf den Abbau von Hemmstoffen aus Getreidestroh und Stoppel. *Z.Pflanzenernähr* 79.
- WITCHALLS J.T., CLOSE R. (1971) - Control of eyespot lodging in wheat by benomyl. *Pl.Dis.Rep.*55(1) 45-47.
- WOLNER K. (1968) - Green manure and fallow experiments. *Forskn.Fors.Landbr.*19(4)449-463 (texte en norvégien).
- X. (1966) - Trials with increasing numbers of years after root crops. *Medd.*789 *St.Fors Virks.Pl.Kult.*
- YARHAM D.J., HIRST J.M. (1975) - Diseases in reduced cultivation and direct drilling systems. *Bull.OEPP* 5(4) 287-296.
- YOSHIDA S. (1972) - Physiological aspects of grain yield. *Ann.Rev.Pl.Physiol.*23: 437-464.
- YUSUMBAEV S.S., ZHUMABAEV R.B. (1971) - Some characteristics of development of the root system in winter wheat c.v. Bezostaya 1 in relation to fertilizers and preceding crops. *Agrokh.*7: 72-76 (texte en russe).

- ZAHAN P. (1967) - Winter wheat performance in different rotations on acid soils of north-west Transylvania.  
Anal.Inst.Cerc.Cer.Pl.Teh.(B) 1967,35: 789 (texte en roumain).
- ZOGG H. (1969) - Crop rotation and biological soil disinfection.  
Qualit.Plantar.et Mater.Veg.18: 256-273.
- (1972) - Phenomena of antagonism in cultivated soil.  
Bull.Europ.and Medit.Pl.Protac.Org.6: 97-105.
- ZUZA V.S. (1974) - Regression analysis in the study of the interactions of cultivated plants and weeds.  
Sel'sk.Stven.Biol.9(6) 838-843 (texte en roumain).
- ZVARA J., LOPATNIK J. (1966) - Les problèmes d'enfouissement de la paille. Poinchospodarstvo 12(5) 379-385 (texte en slovaque).

\* \* \*

\*

